

Evaluación financiera del proyecto instalación de recarga de vehículos eléctricos en el sistema de distribución local.

Diego Alejandro Rincon Vargas

Trabajo de proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director:

Carlos Enrique Vecino Arenas

Ph. D. en Administración

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Dedicada a mi amada madre y a mi querido padre, quienes son los que se merecen todo el mérito por sus grandes sacrificios y amor incondicional.

A mis hermanos Jelver y Laura, quienes siempre estuvieron presentes en el camino.

A mis sobrinos Juan Antonio y Amelita, quienes son mi fuente de inspiración.

A mis abuelitos por la compañía de sus años breves.

A Franchesca y a Lulú.

Diego Alejandro Rincon Vargas

Agradecimientos

Agradezco a Dios, la Virgen María y a la vida por permitirme estudiar en la gloriosa Universidad Industrial de Santander, mi alma mater.

Agradezco a todos mis profesores de los cuales aprendí para mi formación académica y personal, en especial a la profesora Pilar, el profesor Oscar y el profesor Carlos quienes fueron parte fundamental de este proyecto.

A mis compañeros de universidad y grandes amigos, en especial a Gustavo, Miguel, Carlitos, Pacheco, Poches, Ardila, Nicolas y Andrés, quienes hicieron que esta etapa universitaria fuera la mejor época de mi vida y a con quienes siempre encontré hospitalidad.

A mi familia quienes siempre me apoyaron y me motivaron, es especial a mis abuelitos y mis tíos Nolberto, Betty y Nelson.

Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| Introducción | 11 |
| 1. Generalidades..... | 13 |
| 1.1 Planteamiento del Problema | 13 |
| 1.2. Objetivos | 14 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 14 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 14 |
| 2. Revisión de la literatura | 15 |
| 3. Marco teórico | 21 |
| 4. Evaluación financiera..... | 29 |
| 4.1 Analizar el comportamiento de los precios de la energía eléctrica en Colombia. | 29 |
| 4.2 Realizar estudio de la demanda de recargas de vehículos eléctricos en Bucaramanga. | 38 |
| 4.3 Realizar un análisis técnico de la operación de recarga de vehículos eléctricos para estimar los costos. | 46 |
| 4.3.1 Modo de carga..... | 46 |
| 4.3.2 Procedimiento de recarga..... | 47 |
| 4.3.3 Características del caso de estudio..... | 48 |
| 4.4 Calcular los flujos de inversión, ingresos y egresos relacionados con el proyecto. | 52 |
| 4.4.1 Activos fijos y depreciación: | 52 |
| 4.4.2 Presupuesto de ventas | 52 |
| 4.4.3 Presupuesto de compras..... | 53 |

| | |
|---|----|
| 4.4.4 Mano de obra | 54 |
| 4.4.5 CIF | 55 |
| 4.4.6 Estados financieros | 55 |
| 4.5 Fase 5: Realizar la evaluación financiera del proyecto de acuerdo con los datos y variables relacionados | 56 |
| 4.5.1 WACC..... | 56 |
| 4.5.2 Flujo de caja..... | 57 |
| 4.5.2.1 Valor residual..... | 57 |
| 4.5.3 Criterios de decisión: TIR, VPN, B/C, PRI | 58 |
| 4.5.3.1 Tasa interna de retorno..... | 58 |
| 4.5.3.2 Valor presente neto (VPN)..... | 59 |
| 4.5.3.3 Relación: Beneficio-Costo (B/C)..... | 59 |
| 4.5.3.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI). | 59 |
| 4.5.4 Evaluación financiera del modelo con arrendamiento del lugar..... | 59 |
| 4.5.4.1 Tasa interna de retorno..... | 60 |
| 4.5.4.2 Valor presente neto (VPN)..... | 60 |
| 4.5.4.3 Relación: Beneficio-Coste(B/C)..... | 60 |
| 4.5.4.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI). Indicó un tiempo de 3,795 años para la recuperación de la inversión, es decir se puede recuperar el dinero invertido en el horizonte de tiempo planteado (5 años)..... | 60 |
| 5. Conclusiones | 61 |
| 6. Recomendaciones | 62 |
| Referencias bibliográficas..... | 63 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Precio promedio por día de kwh (bolsa de energía)..... | 31 |
| Figura 2. Precio energía eléctrica en bolsa nacional (kwh) | 34 |
| Figura 3. Construcción del modelo ARIMA en el software Rstudio..... | 35 |
| Figura 4. Pronostico precios kwh modelo ARIMA | 37 |
| Figura 5. Infraestructura estación de recarga..... | 48 |
| Figura 6. Los cálculos de la obra civil | 49 |
| Figura 7. Estado de resultados (Escenario normal UPME) | 56 |
| Figura 8. Flujo de caja libre | 58 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Cumplimiento de los objetivos | 15 |
| Tabla 2. Precios históricos promedio mes kwh (bolsa nacional)..... | 33 |
| Tabla 3. Pronostico modelo ARIMA | 38 |
| Tabla 4. Vehículos eléctricos matriculados Bucaramanga. | 40 |
| Tabla 5. Vehículos eléctricos matriculados Bucaramanga por marca. | 40 |
| Tabla 6. Modelos matriculados en Bucaramanga. | 41 |
| Tabla 7. Demanda diaria máxima (kWh) VE para Bucaramanga final 2020. | 42 |
| Tabla 8. Proyección anual de la demanda de energía eléctrica de VE (GWh-Año). | 44 |
| Tabla 9. Proyecciones incremento anual escenarios. | 45 |
| Tabla 10. Resumen de los escenarios de demanda (kWh). | 46 |
| Tabla 11. Consolidado de precios para los cargadores, transformadores y circuitos. | 51 |
| Tabla 12. Activos fijos y depreciación. | 52 |
| Tabla 13. Presupuesto de ventas (escenario normal UPME)..... | 53 |
| Tabla 14. Presupuesto de compras (escenario normal UPME)..... | 54 |
| Tabla 15. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno..... | 58 |

Lista de Apéndices

Apéndice A. Evaluación financiera proyecto estación de recarga de VE.

Apéndice B. Pronostico precio de energía.

Apéndice C. Demanda de recarga de VE en Bucaramanga.

Apéndice D. Presupuesto de Obra civil.

Apéndice E. Presupuesto de cargadores, transformadores y circuitos.

Apéndice F. Estados financieros (Escenarios).

Apéndice G. Modelo autorregresivo ARIMA, Precio de la energía en bolsa (Rstudio).

Apéndice H. Evaluación financiera con arrendamiento del lugar.

Apéndice I. Serie promedio meses precio de kwh en la bolsa nacional.

Apéndice J. Código del modelo ARIMA.

Resumen

Título: Evaluación financiera del proyecto instalación de recarga de vehículos eléctricos en el sistema de distribución local*

Autor: Diego Alejandro Rincon Vargas**

Palabras Clave: Evaluación financiera, Vehículos eléctricos, Estación de recarga.

Descripción: En la presente investigación se plantea realizar una evaluación financiera de la instalación de infraestructura para carga rápida de vehículos eléctricos en la ciudad de Bucaramanga, Colombia. En la metodología planteada se utilizan criterios de decisión a los flujos de efectivo, tales como la tasa de rendimiento interno (TIR), el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio – Costo (B/C) , que se utilizan para medir la rentabilidad de la inversión. Esta investigación se basa en el diseño de Alejandra Jaramillo Pico y Sergio Andrés Macías Pinto, planteado en su estudio titulado “Diseño de una solución para la instalación de un punto de recarga masivo para vehículos eléctricos” , la cual es una instalación con las características propias del entorno local, regido según la normativa colombiana. En el presente trabajo se muestra que las inversiones en estaciones de carga de vehículos eléctricos pueden llegar a ser rentables. Sin embargo, la rentabilidad es demasiado sensible y puede variar principalmente, de acuerdo al costo, la demanda y otras variables. Los resultados obtenidos orientan a lo que inversores deberían tener en cuenta y determinar con mucha precisión los parámetros tales como precio de la energía, proyecciones de demanda, costos de instalación, operación.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Carlos Enrique Vecino Arenas PhD. en Administración

Abstract

Title: Financial evaluation of the project to install electric vehicle charging in the local distribution system.*

Author: Diego Alejandro Rincon Vargas**

Keywords: Financial evaluation, Electric vehicle, vehicle charging.

Description: This research proposes a financial evaluation of the installation of infrastructure for fast charging of electric vehicles in the city of Bucaramanga, Colombia. The proposed methodology uses decision criteria for cash flows, such as the internal rate of return (TIR), the net present value (VPN) and the benefit-cost ratio (B/C), which are used to measure the profitability of the investment. This research is based on the design of Alejandra Jaramillo Pico and Sergio Andrés Macías Pinto, presented in their study entitled "Design of a solution for the installation of a massive recharging point for electric vehicles". which is an installation with the characteristics of the local environment, governed according to Colombian regulations. This paper shows that investments in electric vehicle charging stations can be profitable. However, profitability is too sensitive and can vary mainly according to cost, demand and other variables. The results obtained provide guidance on what investors should take into account and determine very precisely the parameters such as energy prices, demand projections, installation costs, and operation.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Carlos Enrique Vecino Arenas PhD. en Administración

Introducción

El sector transporte es de gran importancia para la sociedad; a través del tiempo ha venido adaptándose a las necesidades de las personas y es clave en el modelo económico global. Actualmente debido a la dependencia de energía fósil se evidencia la preocupación por el medio ambiente, por lo que es necesario reducir la contaminación y disminuir la explotación de energías no renovables. Dada esta necesidad en las últimas décadas se han logrado avances en la búsqueda de fuentes de energías para sustituir a la gasolina y el gas. Es por esto que dentro de las metas propuestas por la Organización de Naciones Unidas dentro del objetivo “*Ciudades y comunidades sostenibles*” propuesto para el 2030 pretende proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos.

La energía eléctrica es apuesta de las marcas de vehículos para hacer frente al impacto que tienen los vehículos convencionales respecto al medio ambiente, es por esto que el uso de estas tecnologías tiene gran relevancia para el futuro del sector transporte.

En Colombia y el mundo la presencia de vehículos eléctricos sigue siendo mínima, pero viene creciendo en un gran porcentaje respecto a los vehículos tradicionales. Una de las razones por las cuales aún no se superan las ventas de vehículos de combustión puede estar relacionada a la ausencia de la infraestructura de puntos de recarga.

En Colombia mediante la ley 1664 de 2019 se decretó generar la promoción al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones, todo esto con el objetivo de contribuir a la movilidad sostenible y la reducción de la contaminación emitida; la mencionada ley describe los incentivos para los usuarios de vehículos eléctricos circulantes en Colombia y también faculta a los

municipios de categoría especial para desarrollar infraestructura de recarga de vehículos eléctricos en su espacio público. Para Colombia según cifras del reporte de la ANDI y FENALCO, en el periodo enero a noviembre del 2019 se han matriculado un total 2.486 vehículos eléctricos e híbridos, lo que representa un aumento de 253% frente al 2018. (FENALCO, 2019).

Esto ha motivado proyectos piloto para el estudio de instalación de infraestructura de puntos de recarga de vehículos eléctricos por parte de las entidades interesadas, como lo es el proyecto *Integración óptima de estaciones de recarga de vehículos eléctricos en el sistema de distribución local* liderado por la escuela Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander para la ciudad de Bucaramanga.

Este trabajo se plantea una evaluación financiera de una estación de recarga de vehículos eléctricos en la ciudad de Bucaramanga que permita cuantificar los flujos de inversión, egresos e ingresos relacionados con el proyecto, así como de la tasa de descuento adecuada; con el fin de obtener resultados acerca de la viabilidad financiera del mismo y de esta manera fortalecer la información para los inversionistas y partes interesadas en implementar estaciones de recarga de vehículos eléctricos en la región.

Este documento sigue la siguiente estructura: planteamiento del problema para la evaluación financiera de una estación de recarga de vehículos eléctricos para la ciudad de Bucaramanga, justificación del proyecto, objetivos planteados, revisión de la literatura, así la evaluación financiera para dar cumplimiento a los objetivos establecidos.

1. Generalidades

1.1 Planteamiento del Problema

La evaluación financiera en un proyecto es una parte muy importante, dado que establece la viabilidad económica, dependiendo de esto el éxito o fracaso del proyecto, es en donde se evalúan sus riesgos, así como costos y beneficios, buscando siempre la mejor alternativa al momento de invertir.

Actualmente el grupo de investigación GISEL, adscrito a la escuela de Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones lleva a cabo un proyecto piloto que dada la problemática del cambio climático y la contaminación ambiental atribuida en gran medida al uso intensivo de combustibles fósiles, tanto en el transporte como en las industrias, busca activamente el desarrollo, comercialización y uso de los vehículos eléctricos, es por esto que uno de los aspectos en los que se concentra es en la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos en la ciudad, a través de la ubicación óptima de estaciones de recarga de vehículos eléctricos en una red de distribución eléctrica que sea viable en el largo plazo.

Es en este contexto que se requiere de la cuantificación de los flujos de inversión, egresos e ingresos relacionados con este proyecto, así como de la tasa de descuento adecuada; con el fin de obtener resultados acerca de la viabilidad financiera del mismo y de esta manera fortalecer la información para los inversionistas y partes interesadas en implementar estaciones de recarga de vehículos eléctricos en la región.

A nivel local existe un gran interés por desarrollar proyectos en esa dirección, destacando a entidades como la Electrificadora de Santander, el SENA, la Universidad Industrial de Santander, entre otros, estas investigaciones requieren del elemento financiero, el cual es esencial al momento de tomar una decisión. En el entorno local se destaca el proyecto titulado “Diseño de una solución para la instalación de un punto de recarga masivo para vehículos eléctricos” realizado por Alejandra Jaramillo y Sergio Macias bajo la dirección y el acompañamiento de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, es por esto que el presente proyecto se basará en las especificaciones técnicas de este.

Los resultados de este proyecto promoverán la investigación en el área del desarrollo sostenible, en la cual se complementan diferentes disciplinas del conocimiento con el fin de proponer soluciones a los diferentes problemas que se presentan en la actualidad.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar la evaluación financiera del proyecto integración óptima de estaciones de recarga de vehículos eléctricos en el sistema de distribución local.

1.2.2 Objetivos Específicos

Analizar el comportamiento de los precios de la energía eléctrica en Colombia.

Realizar estudio de la demanda de recargas de vehículos eléctricos en Bucaramanga.

Realizar un análisis técnico de la operación de recarga de vehículos eléctricos para estimar los costos.

Calcular los flujos de inversión, ingresos y egresos relacionados con el proyecto.

Realizar la evaluación financiera del proyecto de acuerdo con los datos y variables relacionados.

En la Tabla 1 se menciona los capítulos en donde se evidencia el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Tabla 1.

Cumplimiento de los objetivos

| Objetivo | Cumplimiento |
|---|--------------------|
| 1. Analizar el comportamiento de los precios de la energía eléctrica en Colombia. | Capítulo 4, fase 1 |
| 2. Realizar estudio de la demanda de recargas de vehículos eléctricos en Bucaramanga. | Capítulo 4, fase 2 |
| 3. Realizar un análisis técnico de la operación de recarga de vehículos eléctricos para estimar los costos. | Capítulo 4, fase 3 |
| 4. Calcular los flujos de inversión, ingresos y egresos relacionados con el proyecto. | Capítulo 4, fase 4 |
| 5. Realizar la evaluación financiera del proyecto de acuerdo con los datos y variables relacionados. | Capítulo 4, fase 5 |

2. Revisión de la literatura

Sears, Glitman, & Roberts (2014) en su documento “*Forecasting Demand of Public Electric Vehicle Charging Infrastructure*” exponen que la falta de infraestructura de carga de

vehículos eléctricos es una barrera significativa para la aceptación de vehículos eléctricos. Si bien los beneficios ambientales de los vehículos eléctricos están bien documentados, el despliegue de esta infraestructura debe optimizarse para maximizar el uso y facilitar la adopción de esta nueva tecnología.

Ellos presentan una metodología para pronosticar la demanda de estaciones de carga de vehículos eléctricos e identificar ubicaciones prioritarias. Su estudio se basa en datos de la Encuesta Nacional de Viajes Domésticos (NHTS) en Estados Unidos, para caracterizar el comportamiento de viaje de los conductores. Se obtuvo información sobre proyecciones del número de vehículos eléctricos que se estiman podrían ser registrados en estados unidos en 2020 y la ciudad de Vermont en particular (ciudad donde se realizó este estudio); estas proyecciones se utilizaron como un medio para aproximar la demanda de infraestructura de carga. Concluyendo que la construcción óptima de la infraestructura de carga pública requerirá la previsión de la demanda y también de técnicas de financiación innovadoras.

Vagropoulos, Kleidas, & Bakirtzis (2014) en su trabajo titulado “*Financial viability of investments on electric vehicle charging stations in workplaces with parking lots under flat rate retail tariff schemes*” evaluaron la viabilidad financiera de una inversión en estaciones de carga de vehículos eléctricos en un lugar de trabajo comercial con un estacionamiento, que opera como un revendedor que compra energía de la red y luego vende esta energía a los propietarios de vehículos eléctricos (EV), mediante la compra de energía en una determinada tarifa minorista de la red y luego vender energía en una nueva tarifa minorista más alta.

En la metodología planteada utilizan adecuados métodos de presupuesto aplicados a los flujos de efectivo descontados, la tasa de rendimiento interno (TIR) y el método del valor presente neto (VPN), que se utilizan para medir la rentabilidad de la inversión, luego examinaron

instalaciones de carga (3,3 kW y 7,2 kW). Esta investigación se basa en una instalación griega, por lo tanto, se consideraron escenarios para Grecia, destacando un análisis de sensibilidad para varios parámetros que se identifican determinantes clave de la rentabilidad. Este trabajo indica que las inversiones en estaciones de carga de vehículos eléctricos pueden ser rentables. Sin embargo, la rentabilidad es demasiado sensible y puede variar sustancialmente, de acuerdo al costo y otros factores de cualquier caso específico. Concluyendo que los inversores deberían enfocarse fuertemente en determinar con mucha precisión los parámetros tales como precio de la energía, costos de instalación, mantenimiento, vida útil de los cargadores y planificar cuidadosamente la estrategia para el precio de cobro dado.

Yun (2018) expone que el desarrollo de instalaciones de carga de vehículos eléctricos afecta directamente la velocidad del desarrollo del vehículo eléctrico. Él aborda el problema de la predicción sobre la demanda de carga de vehículos eléctricos mediante el método del coeficiente elástico para predecir el número de automóviles en la ciudad de Chengdu para 2020, y luego lo combina a la situación actual, aplicándolo a automóviles privados, taxis, autobuses y vehículos eléctricos. El método de coeficiente elástico es un método de predicción indirecta que se basa en el pronóstico del desarrollo y cambio de un factor y predice el desarrollo de otro.

Schirinzi, Coppola, & Munoz (2019) presentan una evaluación sobre la rentabilidad de la inversión y conveniencia económica para la instalación de estaciones de carga rápida y ultrarrápida para vehículos eléctricos (EV) con ubicación en Italia y en California, basado en experiencia tanto como operador de infraestructura de carga y proveedor de servicios de movilidad en sus mercados. En este documento los autores exponen los requisitos principales que promueven la instalación de infraestructura de carga, así como la propuesta de solución técnica e informes de resultados financieros mediante con la metodología del valor presente neto (VPN). Plantearon un análisis de

rentabilidad sobre la inversión en estaciones de carga rápidas y ultrarrápidas con supuestos sobre el modelo de negocio de operaciones de la estación de carga, ventas futuras de servicios de carga, ciclo de vida, evaluación, costo de inversión, gastos operativos y datos generales del mercado, como la relación entre la carga tanto público como privada.

En el documento *"Investment assessment over fast and ultra-fast EV charging stations with embedded electricity storage systems,"* sostienen que la madurez de la sostenibilidad técnica y financiera de las soluciones propuestas aún no son adecuadas para respaldar plenamente un modelo de negocio sólido o que resulte viable y consideran que según el escenario del mercado italiano y los supuestos que se tuvieron a consideración, instalar una estación de carga rápida de 50 kW con almacenamiento integrado será más viable económicamente a partir de 2024 y en el caso de ultrarrápido 350 kW será más factible a partir de 2026. Se concluyó con los resultados obtenidos que el concepto de arquitectura híbrida es técnicamente más factible y puede ser más conveniente que la arquitectura estándar, aunque ambas arquitecturas no serán rentables para muchos años.

Marino (2020) presenta una metodología novedosa para estudiar la expansión de estaciones públicas de carga inteligente (CS) de vehículos eléctricos (EV) para una gran ciudad latinoamericana en su documento *"Unsupervised learning for deploying smart charging public infrastructure for electric vehicles in sprawling cities"* donde evidencia una diferencia relevante en el acceso a la carga en la vivienda entre países desarrollados y economías emergentes como es el caso, en ciudades latinoamericanas. Es por esto que el desarrollo de estaciones de carga públicas representa un factor crucial en la adopción de vehículos eléctricos por los conductores o usuarios. El autor desarrolla una metodología con el objetivo de optimizar la expansión de estaciones de carga inteligentes desde la perspectiva de una ciudad aun en crecimiento, permitiendo definir ubicaciones potenciales dentro de un área urbanizada. También se empleó un modelo de

programación estocástica para optimizar la integración de instalaciones de infraestructura y estaciones de carga de vehículos eléctricos que utilizan una estrategia de colaboración para minimizar su costo de consumo de energía, bajo demanda incertidumbre; obteniendo resultados experimentales que dan una idea para cada una de las diferentes partes interesadas tales como gobierno, industria, academia y sociedad civil con el objetivo de promover políticas, inversiones e incentivos aplicado al contexto de una ciudad latinoamericana.

El problema de la carga de baterías de larga duración hace que la instalación de infraestructura de estación de carga es clave para la adopción y crecimiento de vehículos eléctricos. Huang & Kockelman (2020) utilizan algoritmos genéticos para identificar la ubicación de la estación maximizadora de ganancias y detalles de diseño, con aplicaciones que reflejan los costos de instalación, operación y mantenimiento de equipos de servicio, incluyendo la adquisición terrenos. En esta investigación las estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos (EVCS) se colocan en una ciudad de red congestionada sujeta a demanda estocástica. Los resultados de la red de Boston sugieren que los EVCS deberían ubicarse principalmente a lo largo de las grandes autopistas, también asevera que las sesiones de cobro más cortas y tarifas más altas aumentan las ganancias en general. Recomienda que la infraestructura de las estaciones debe seguir su crecimiento al ritmo de la demanda, para poder maximizar las ganancias con el tiempo y evitar en el lugar congestión.

Boongaling Agaton, Azcuna Collera, & Samala Guno (2019) identifican el impacto económico, ambiental y social de la adopción de vehículos eléctricos para el transporte público, usando a Filipinas como caso de estudio. Los hallazgos resaltan la ventaja económica de invertir en transporte público eléctrico con alta aceptación pública. Los resultados identifican aún más disminución significativa de la contaminación del aire, reducción de las emisiones de gases de

efecto invernadero y alentar la reducción de dependencia de combustibles fósiles importados cambiando el transporte público del transporte convencional al sistema eléctrico. Este estudio recomienda una implementación más estricta de las políticas gubernamentales sobre modernización del transporte público, mayor apoyo del gobierno en mecanismos de financiación, establecimiento de estaciones de carga en terminales públicas y privadas, y programas de refuerzo para el desarrollo local vehículos eléctricos. Filipinas es un país en vía de desarrollo en el sudeste asiático, el transporte es un sector clave que une la población y los centros económicos en todo el país, resultando importante estos análisis para traerlos al contexto de economías en desarrollo.

Arias & Bae (2016) en su artículo “*Electric vehicle charging demand forecasting model based on big data*” presentan un modelo de pronóstico para estimar la demanda de carga de vehículos eléctricos basada en Big Data. La mayoría de los estudios no consideran los datos de distribución del tráfico en el mundo real y el clima condiciones para predecir la demanda de carga del vehículo eléctrico. En este documento, se utilizaron los datos históricos de tráfico de vehículos de combustión bajo el supuesto de que estos se asemejaran al del comportamiento del uso de vehículos eléctricos en un futuro, así mismo, se utilizaron datos meteorológicos de Corea del Sur para formular el modelo de pronóstico. Los procesos de suposición incluyen un análisis de conglomerados para clasificar los patrones de tráfico, un análisis para identificar factores influyentes. Las variables consideradas en este estudio fueron los tiempos de inicio de carga, determinado por los patrones de tráfico del mundo real y el estado inicial de carga de una batería, así como ejemplos de estudios de caso para la demanda de carga de vehículos eléctricos para mostrar los diferentes perfiles de carga de vehículos eléctricos en sitios residenciales y comerciales. El modelo de pronóstico presentado puede permitir que el sistema eléctrico se

anticipe a la demanda de carga de vehículos eléctricos basada en datos históricos de tráfico y datos meteorológicos.

3. Marco teórico

Movilidad Sostenible: Movilidad que es capacitada de satisfacer las necesidades de la sociedad de moverse libremente, acceder, comunicarse, comercializar o establecer relaciones sin sacrificar otros valores humanos ecológicos primordiales actuales o futuros. Esta, debe incluir elementos básicos de eficiencia, seguridad, equidad, calidad de vida, competitividad y salud de conformidad a lo dispuesto por el *World Business Council for Sustainable Development* (Ley 1964 de 2019).

Vehículo eléctrico: Un vehículo impulsado exclusivamente por uno o más motores eléctricos, que obtienen corriente de un sistema de almacenamiento de energía recargable, como baterías, u otros dispositivos portátiles de almacenamiento de energía eléctrica, incluyendo celdas de combustible de hidrógeno o que consiguen la corriente a través de catenarias. Estos vehículos no cuentan con motores de combustión interna o sistemas de generación eléctrica a bordo como medio para suministrar energía eléctrica (Ley 1964 de 2019).

Recarga del vehículo eléctrico:

A través del tiempo se la industria automotriz ha creado accesorios y dispositivos de recarga para los diferentes modelos de vehículos eléctricos, generando una amplia gama de elementos en el mercado, encontrando diferencias en parámetros como los son la potencia (que

incide directamente en el tiempo de carga) y conectores de carga. (Jaramillo Pico & Macías Pinto, 2016)

Baterías: las baterías de ión-litio han demostrado grandes ventajas que permiten pensar en su uso, no solo para teléfonos móviles, computadores portátiles y otros aparatos como hasta ahora, sino también en alimentar vehículos eléctricos, estas baterías pueden soportar numerosos ciclos de carga, del orden de un millar al menos, no tienen efecto memoria y su impacto ambiental es bajo.

Tipos y tiempos de carga. Se consideran cinco tipos de carga según el tiempo que tardar en cargar las baterías (velocidad) que depende directamente de la potencia disponible, se acostumbra a resumir en dos: carga rápida y carga lenta. Según la (Fundación Asturiana de la energía FAEN, 2016) los cinco tipos de recarga son:

- Recarga súper-lenta: cuando la intensidad de corriente se limita a 10 A o menos por no disponer de una base de recarga con protección e instalación eléctrica adecuada. La recarga completa de las baterías de un coche eléctrico medio, unos 22 a 24 kWh de capacidad, puede llevar entre diez y doce horas.

- Recarga lenta: también se puede llamar convencional o recarga normal. Se realiza a 16 A, demandando unos 3,6 kW de potencia. Recargar esas mismas baterías puede llevar entre seis y ocho horas.

- Recarga semi-rápida, en inglés se suele llamar quick-charge, menos rápida que la fast-charge. Se realiza a una potencia de unos 22 kW. Renault apuesta bastante por este tipo de recarga, por ejemplo, con su cargador de bajo coste Camaleón, compatible con el Renault ZOE. La recarga puede llevar una hora u hora y cuarto.

- Recarga rápida, la potencia que se demanda es muy alta, entre 44 y 50 kW. La recarga de esos 22 a 24 kWh de baterías puede llevar media hora. Lo normal es que no se haga una recarga del 100% sino en torno al 80% o 90%.

- Recarga ultra-rápida, apenas se usa, y debe considerarse algo todavía experimental, en vehículos eléctricos a prueba con acumuladores de tipo supercondensadores (por ejemplo algunos autobuses eléctricos). La potencia de recarga es muy elevada, y en unos cinco o diez minutos se pueden recargar las baterías. Las baterías de iones de litio no soportan la temperatura tan elevada que provoca este tipo de recarga pues deteriora gravemente su vida útil.

Características de los puntos de recarga (Arsuaga Chabot, 2010):

Según los distintos *escenarios*:

- Poste: sencillo, doble o múltiple.
- De pared: sencillo, doble o múltiple.
- Con panel de distribución múltiple. El cableado puede ser por pared, suelo o techo.
- Hogar

Según el sistema de *control de carga y/o cobro*:

- Tarjeta de crédito.
- Tarjetas específicas, de contacto, tipo RFID.
- Llaves (compra previa).
- Telepago (telepeaje).
- Interfase para control de red.
- Monedero.

Según la seguridad física del punto de recarga:

- Normal.

- Reforzado.
- Antivandálico.
- Con “cierre de plaza”, es decir impidiendo el acceso de otros coches.

Evaluación financiera:

Tiene como objetivo determinar los niveles de rentabilidad de un proyecto para lo cual se compara los ingresos que genera el proyecto con los costos en los que el proyecto incurre tomando en cuenta el costo de oportunidad de los fondos, En general se puede decir que la evaluación financiera es el estudio que se hace de la información, que proporciona la contabilidad y toda la demás información disponible para tratar de determinar la situación financiera o sector específico de ésta. (Maldonado Arias, 2006)

Inversiones: Las inversiones habitualmente se realizan al inicio de cada proyecto, sin embargo, durante la ejecución del mismo en momentos es inevitable incurrir en otros costos propios de la operación.

Según Juan José Miranda (Miranda, 2005) Las inversiones que se realizan al inicio del proyecto se clasifican como:

Inversiones fijas: Son de uso exclusivo y su finalidad no es la comercialización, son el principal apoyo para el progreso del proyecto, por lo general son los terrenos, edificaciones, maquinaria, herramientas, bienes tangibles, etc.

Inversiones diferidas: son los servicios que son necesarios pagar para la puesta en marcha del proyecto, estos son previos al inicio del proyecto y pueden ser prorrateados en el tiempo de vida del proyecto, algunas inversiones de este tipo suelen ser estudios previos, económicos, técnicos, legales, ambientales, gastos financieros o relacionados con la formación del personal, etc.

Capital de trabajo: es el dinero que se cuenta en el proyecto a corto plazo, con el fin de cubrir imprevistos, este valor es el de recursos necesarios para operar el proyecto, es el dinero en efectivo, inventarios, cartera a corto plazo, entre otros.

Costos de operación: En la realización del proyecto se producen una serie de costos para su correcto cumplimiento, los cuales se pueden clasificar en tres grandes grupos: costos de fabricación, administrativos y costos de ventas. (León Garcia, 1992)

Costos de fabricación: se definen como los costos que están relacionados directamente con la producción de los bienes o la prestación del servicio, algunos de estos costos son materia prima, materiales directos, mantenimiento, seguros de maquinaria, impuestos, arriendos y mano de obra que participan en la transformación de los productos.

Gastos Administrativos: son los costos asociados a los sueldos y prestaciones de la nómina administrativa, las pólizas que protegen las edificaciones y equipos administrativos, gastos de representación, útiles de oficina, comunicaciones, movilidad, investigación y desarrollo, entre otros.

Gastos de Ventas: Comprende los sueldos y comisiones de vendedores, ejecutivos y supervisores de ventas, viajes, viáticos, publicidad, papelería y atención a clientes, etc.

Ingresos: Son las entradas liquidas del proyecto representadas por el dinero recibido por concepto de las ventas del producto o la prestación servicio.

La estimación de los ingresos en ocasiones es bien complicada, y depende, en gran parte, de la calidad y el rigor de los estudios de mercado. (Miranda Miranda, 2000)

Flujo de caja: Es un esquema donde se representa en forma orgánica y sistemática cada una de las erogaciones e ingresos líquidos registrados periodo a periodo.

Una evaluación financiera de un proyecto resulta recomendable en la medida de que los ingresos superen a los costos. (Miranda Miranda, 2000)

Los elementos involucrados en el flujo de caja son:

- Las erogaciones correspondientes a las inversiones que se realizan principalmente en las fases iniciales del proyecto.
- Los costos que se causan y pagan en el tiempo de actividad del proyecto.
- Los ingresos recibidos por concepto de venta o prestación del servicio.
- Valores económicos no contables de los activos fijos en el momento de liquidar el proyecto.
- Otros ingresos generados por la colocación de excesos de liquidez temporal en inversiones alternas.

Costo de capital (WACC): Se define como el costo que comprende poseer activos y es el beneficio mínimo que deben generar. Se establece como el costo promedio ponderado de las fuentes que financian la adquisición de activos de la organización, para su cálculo se tienen en cuenta tres elementos, costo del patrimonio, costo de la deuda, estructura financiera (Garcia, 2003).

Se formula así:

$$WACC = \frac{D}{D + P} * Kd + \frac{P}{D + P} * Kp$$

Donde:

D= Valor de la deuda

P= Valor del patrimonio (Capital)

Kd= Costo de la deuda

Kp= Costo del patrimonio

El costo de la deuda es la tasa de interés cobrada por las fuentes de financiación y el costo del patrimonio es un referente, este último es más complejo de obtener, el método más utilizado es el modelo Capital Assets Pricing Model (CAPM)

Modelo CAPM: Es un modelo de valoración de activos financieros (Capital Asset Pricing Model) propuesto por William Sharpe que permite la estimación de la rentabilidad esperada dada la función del riesgo sistemático.

El modelo CAPM, formula la estimación de la rentabilidad de un activo del siguiente modo:

$$E (ri) = rf + \beta * [E (rm) - rf]$$

Donde:

E (ri): Tasa de rentabilidad esperada de un activo concreto.

rf: Rentabilidad del activo sin riesgo. Realmente, todos los activos financieros conllevan riesgo por lo tanto se prefieren activos de menor riesgo, normalmente estos son los activos de deuda pública.

Beta de un activo financiero: es la medida de la sensibilidad del activo respecto a su Benchmark, esta interpretación para este parámetro nos permite conocer la variación relativa de la rentabilidad del activo respecto al mercado en el cual cotiza.

E(r_m): Tasa de rentabilidad esperada del mercado en que cotiza el activo (Almenara Juste, 2017).

Criterios de decisión

Tasa interna de retorno (TIR): Es la tasa de interés que equipara el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos, es una tasa de interés la cual produce efectos neutros,

es decir ni pérdidas, ni ganancias, dicho de otra manera, es la tasa de interés que permite obtener un valor presente neto igual a cero. (Miranda Miranda, 2000)

Valor presente neto (VPN): Corresponde a la diferencia entre el valor presente de los ingresos y el valor presente de los egresos. (Miranda Miranda, 2000)

$$VPN = VPI - VPE$$

Donde nos da un valor en el que nos basamos para la toma de decisiones, la regla de decisión establecida da criterios de referencia los cuales recomiendan que:

Si el $VPN > 0$, el proyecto es conveniente

Si el $VPN = 0$, el proyecto es indiferente

Si el $VPN < 0$, el proyecto es inconveniente

Relación beneficio - costo: el análisis económico “costo-beneficio” es una técnica de evaluación genérica que se emplea para determinar la conveniencia y oportunidad de un proyecto, donde se suelen aceptar aquellos proyectos que sus ingresos superen a los concernientes costos, no obstante, en proyectos de interés social este criterio puede ser discutible puesto que los beneficios intangibles del proyecto no son susceptibles de una valoración. (Miranda Miranda, 2000)

Periodo de recuperación de la inversión (PRI): es un indicador que calcula en cuánto tiempo se recuperará la inversión total a valor presente, este puede revelar con precisión, en años, meses y días, la fecha que será cubierta la inversión inicial. (Váquiro, 2010)

4. Evaluación financiera

La metodología a utilizar en este proyecto para visualizar los resultados financieros está basada en (Moix, 2014). Esta consiste en la realización de un modelo matemático-financiero, con el objetivo de simular variables financieras y económicas, para posteriormente determinar el valor que genera a los socios, contemplando el valor del dinero en el tiempo.

Esta metodología relaciona la inversión, ingresos, costos y gastos, gestionando la condición del costo de capital, logrando valorar el flujo de dinero obtenido a la finalización de cada periodo, así logrando estimar su beneficio bajo variadas condiciones de riesgo.

4.1 Analizar el comportamiento de los precios de la energía eléctrica en Colombia.

Para abordar un análisis del comportamiento histórico de los precios de la energía eléctrica en Colombia es importante contextualizar y entender cómo se generan estos precios, respondiendo a la siguiente pregunta: ¿Cómo se establece este precio? y la respuesta es: en Colombia existen dos tipos de mercado: “*El mercado regulado*, que es directamente contratado y servido por compañías de distribución, este abarca usuarios industriales, comerciales y residenciales con demandas de energía inferiores a 55 MWh. En este mercado, la estructura de tarifas es establecida por la agencia reguladora CREG. En este tipo de mercado se encuentran concentrados casi la totalidad de usuarios del país. La fórmula de cobro es aprobada por el regulador, y cualquier usuario es atendido sin importar su consumo, el otro tipo es el *Mercado No Regulado* en donde participan voluntariamente la industria y todos aquellos usuarios que tengan un alto consumo de

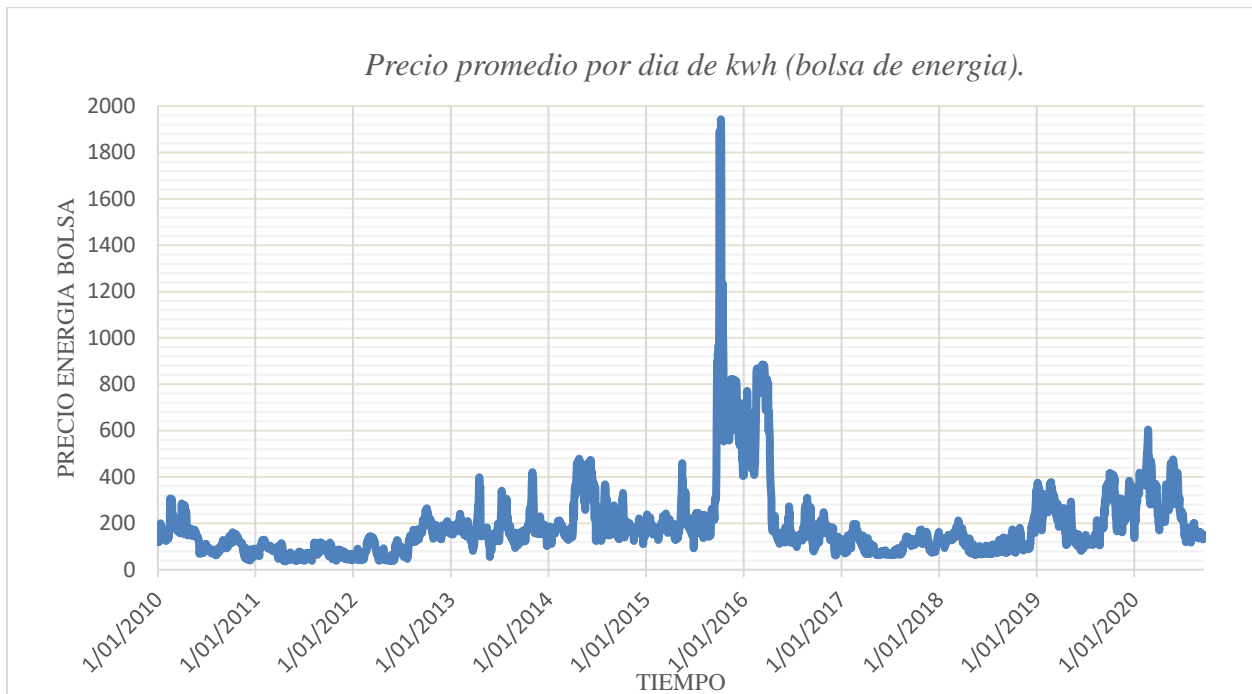
energía. Actualmente un usuario no regulado es un consumidor con demandas de energía superiores o iguales a 55 MWh /mes. A diferencia del regulado, el precio de comercialización y generación se pacta libremente mediante un proceso de negociación entre el consumidor y el comercializador” (Vatía, 2020). La energía eléctrica se transa en el mercado mayorista, mediante transacciones o contratos de compraventa entre las partes oferentes y las demandantes donde se fija su precio, o a través de operaciones de bolsa con un precio Spot. El coste de la factura que recibe el usuario final o también denominado *Costo Unitario* incluye el componente de la *generación, la transmisión, comercialización, las pérdidas reconocidas y el de las restricciones*. Entre estas variables, tanto para usuarios residenciales (el mercado regulado) como para grandes consumidores (el no regulado), el componente de generación es el más variable. No obstante, mientras que en el *mercado no regulado* el precio de generación es el promedio de los contratos de largo plazo, en el mercado regulado el factor generación no depende tanto del precio de estos contratos como del precio en bolsa (spot), según el grado de exposición que tengan los comercializadores.

Teniendo en cuenta la Resolución CREG 131 de 1998, el punto de recarga del presente caso de estudio se considera como un usuario *no regulado* por sobrepasar los 100 [kW] de demanda máxima.

A continuación, en la figura 1, se presentan los precios históricos de la bolsa nacional de energía eléctrica en Colombia (Mercado no regulado).

Figura 1.

Precio promedio por día de kwh (bolsa de energía).



Se destaca en gran medida, los precios del 2015, con un amplio rango de precios, entre los 400 \$/kWh y 850 \$/kWh, con algunos valores atípicos que sobrepasan de los 1000 \$/kWh. Al analizar los valores en la base de datos, estos se ubican en los meses de octubre y noviembre. El Precio de Bolsa superó al de Escasez durante todo el mes de noviembre. A partir de este mes, se observa una disminución del Precio de Bolsa hasta mayo de 2016, lo cual no corresponde a una respuesta natural del mercado sino a una intervención regulatoria (Resolución CREG 172 de 2015) en el cual se limita el precio máximo de oferta para el mercado spot al 75% del CRO menos el costo de arranque y parada. La resolución señalada en el párrafo anterior, buscó aliviar el costo de generación con líquidos asociados a la activación de la opción financiera de obligaciones de energía en firme. (UPME, 2016).

Es importante identificar cuáles son las variables que afectan estos precios en el entorno nacional, donde se presenta una alta tasa de generación de energías renovables mediante centrales hidráulicas equivalente al 68.3%, frente a un 30.7% de generación mediante fuentes térmicas, un 0.1% de Eólica y 0.1% de Solar. Es por esto que es necesario hacer la siguiente pregunta: ¿Existe relación entre los precios de la energía con la ocurrencia de fenómenos naturales extremos como Niña o Niño?

El Niño es un fenómeno de variabilidad climática, su efecto en el clima del país se encuentra asociado a disminución de las lluvias en relación con lo normal y aumento de las temperaturas de las regiones Caribe y Andina. El fenómeno opuesto, La Niña, se caracteriza por un aumento en las precipitaciones y disminución de las temperaturas en las regiones Andina, Caribe y Pacífica. El Niño causa alteraciones significativamente anómalas en el régimen hídrico en el país causando prolongaciones de los períodos secos e incidiendo notoriamente en los aportes hídricos a los embalses, lo cual ha llevado a la disminución de generación hidroeléctrica, a demandar mayor generación térmica y en algunos casos a racionar la demanda de energía. Tales implicaciones ocasionarían una eventual desatención parcial de la demanda, debido al alto componente hidráulico del sistema eléctrico nacional.

En Colombia hay una situación especial con el fenómeno del Niño donde se afectan tanto la oferta como la demanda; la oferta porque hay menores lluvias y por tanto se incurre en costos adicionales y por el lado de la demanda, porque a raíz del calor se aumentan los consumos de equipos de refrigeración, aires acondicionados, entre otros.

En el estudio “*Análisis del comportamiento de los precios de oferta de energía eléctrica en Colombia del año 2000 al 2016*” de la Universidad Nacional de Colombia se hace una relación entre los precios de oferta y los fenómenos del niño, obteniendo como resultado una correlación

moderada con un valor de 0.371 con un rezago de 5 períodos. La relación más alta se presenta con respecto a la oferta hidráulica, pero se esperarían valores más altos que indicaran una correlación más fuerte, pero se debe tener en cuenta también que la intensidad del fenómeno del Niño no es pareja en el período en el que ocurre el mismo. Para esto también es importante analizar una variable que se ve afectada por el fenómeno climático, que es el nivel de los embalses, análisis que podría determinar una correlación más fuerte entre los episodios climáticos extremos y los Precios de Oferta. El mencionado análisis arrojó que efectivamente los niveles de los embalses poseen una relación moderada con respecto a los precios de oferta de energía sin embargo se ha evidenciado a lo largo del análisis que los precios no dependen de una sola variable, sin embargo, como se evidencia en el caso de los años 2015 y 2016 una regulación por parte de la CREG tiene mayor incidencia que cualquier otro factor de tipo técnico o ambiental.

Para la realización del pronóstico de los precios de la energía para el mercado no regulado se tomaron los datos de precio diario (Kwh) en bolsa nacional posteriores a la *Resolución CREG 172 de 2015*, es decir desde el mes de mayo del 2016 hasta diciembre del 2021 y se realizó el promedio en meses, obteniendo los resultados que se ven en la tabla 2.

Tabla 2.

Precios históricos promedio mes kwh (bolsa nacional)

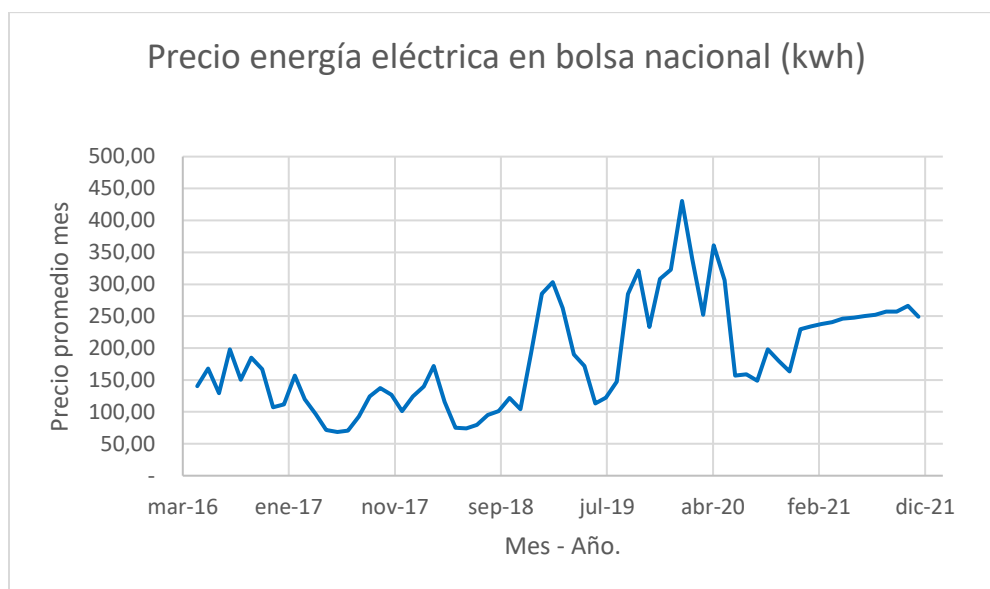
| MES | PRECIO PROMEDIO MES (Kwh) | | | | | |
|----------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | AÑO | | | | | |
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| Enero | | 111,51 | 124,48 | 285,42 | 323,06 | 229,34 |
| Febrero | | 156,99 | 140,04 | 303,47 | 430,52 | 234,01 |
| Marzo | | 119,86 | 172,13 | 262,86 | 339,34 | 237,4 |
| Abril | | 96,48 | 115,67 | 189,79 | 252,14 | 240,7 |
| Mayo | 140,31 | 71,65 | 75,12 | 172,13 | 360,95 | 246,08 |
| Junio | 167,97 | 68,5 | 73,93 | 113,28 | 306,52 | 247,55 |

| MES | PRECIO PROMEDIO MES (Kwh) | | | | | |
|-------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | AÑO | | | | | |
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| Julio | 129,21 | 70,6 | 79,89 | 122,33 | 156,75 | 250,08 |
| Agosto | 198,02 | 92,57 | 95,03 | 147,26 | 159,02 | 252,24 |
| Septiembre | 150,36 | 124,32 | 101,43 | 284,76 | 158,15 | 257,23 |
| Octubre | 184,95 | 137,37 | 121,86 | 321,29 | 198,21 | 256,96 |
| Noviembre | 166,68 | 126,72 | 104,12 | 232,89 | 179,78 | 266,1 |
| Diciembre | 107,45 | 101,35 | 191,34 | 308,51 | 163,23 | 249,04 |

De los datos anteriores expuestos en la tabla 2, se obtiene la figura 2, un gráfico de dispersión proporcionado por Microsoft Excel.

Figura 2.

Precio energía eléctrica en bolsa nacional (kwh)

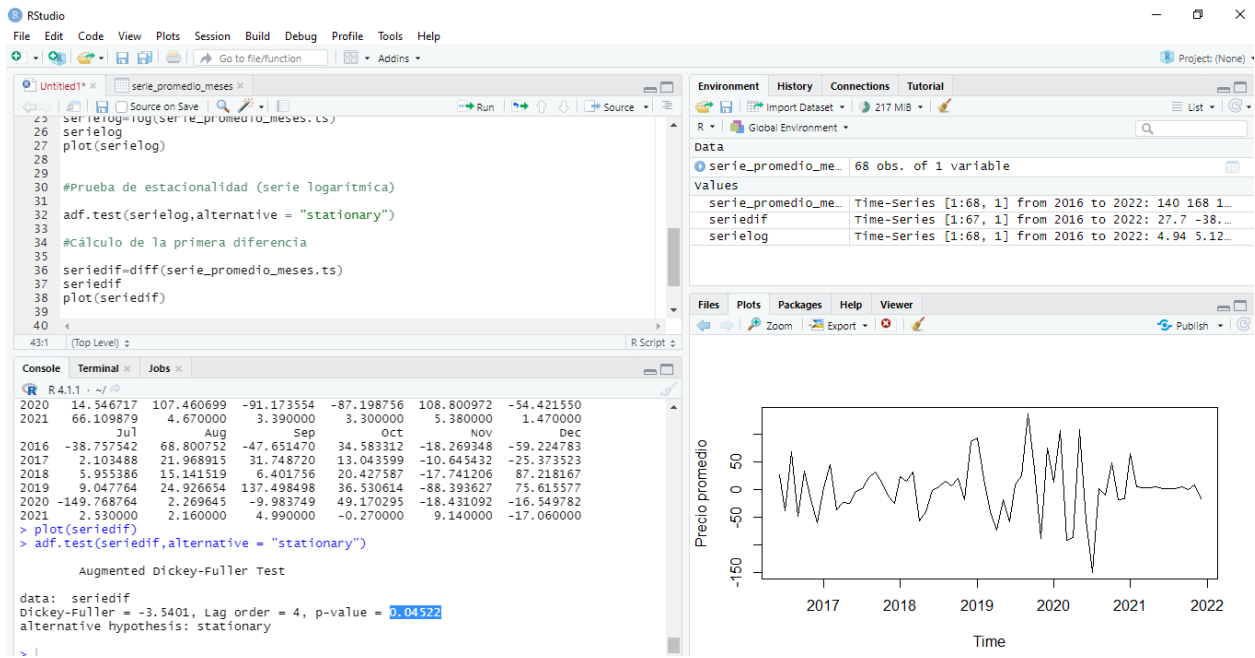


En la figura 2 no se observa una tendencia clara, por lo que se decide hacer un pronóstico mediante un modelo auto regresivo tipo ARIMA mediante el software Rstudio.

Para la obtención del modelo auto regresivo ARIMA (Apéndice G), el primer paso que se efectuó fue lograr la estacionariedad de la serie de tiempo para los precios de la energía eléctrica. Una vez importados los datos históricos de precio promedio por mes, desde el mes de mayo de 2016 hasta diciembre de 2021, se convirtió la serie de tiempo a logarítmica y se ejecutó la prueba de “Dickey-Fuller”, obteniendo como resultado un $P\text{-value} = 0,1567$ mayor a 0,05 lo cual significa que no es una serie estacionaria. Posteriormente se calculó la primera diferencia a la serie de tiempo, y se realizó nuevamente la prueba de “Dickey-Fuller”, esta vez obteniendo como resultado un valor de $P\text{-value} = 0,0452$; como se puede observar en la figura 3.

Figura 3.

Construcción del modelo ARIMA en el software Rstudio.



Dicho de otra manera, Como $p\text{-value} = 0,0452 \leq 0,05$; Se acepta la hipótesis nula, logrando la estacionariedad con la primera diferencia, por lo tanto, ya se puede proceder a realizar el modelo ARIMA.

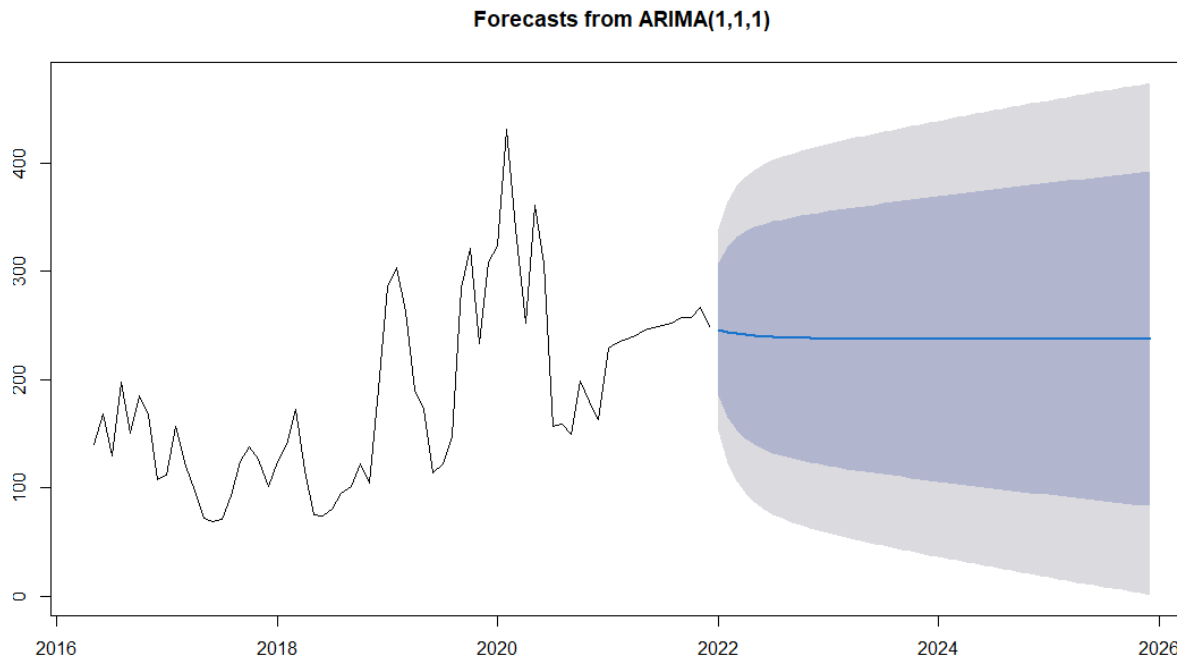
Se ejecutó el modelo ARIMA con 1 auto regresivo, 1 diferencia y 1 media móvil, para la serie de tiempo original obteniendo los coeficientes para el auto regresivo= 0,7466 y el de la media móvil= -0.9301.

Posteriormente se hace la prueba de validez para determinar si el modelo se ajusta bien (Prueba de ruido blanco) mediante la prueba “Ljung-Box”, obteniendo un valor P-value= 0,5814; concluyendo que existe ruido blanco y el modelo se ajusta bien, es decir el error tiene media igual a cero y su varianza es constante.

Seguido a las pruebas se procede a pronosticar a través del comando *forecast* de Rstudio al modelo para un total de 48 periodos (meses) equivalente a 4 años (desde enero de 2022 hasta diciembre de 2025). La representación gráfica de este pronóstico se muestra en la figura 4. Donde la línea azul representa el punto promedio pronosticado, y las partes sombreadas los intervalos que pueden tomar estos valores, siendo la más sombreada a un nivel de significancia de 80% y la menos sombreada a un nivel de confianza del 95%.

Figura 4.

Pronostico precios kwh modelo ARIMA



Una vez ejecutado el comando *forecast*, se obtuvieron los s resultados mostrados en la tabla 3. Donde la columna *Point Forecast* pronostica el precio promedio estimado para cada periodo de tiempo y las columnas *Lo 80%* y *Hi 80%* los limites inferiores y superiores respectivamente a un nivel de confianza del 80%. En el apéndice B, se pueden evidenciar estos valores así mismo los respectivos límites para un nivel de confianza del 95%)

Tabla 3.

Pronostico modelo ARIMA

| Mes-Año | Point forecast | Lo 80% | Hi 80% | Mes-Año | Point forecast | Lo 80% | Hi 80% |
|---------|----------------|--------|--------|---------|----------------|--------|--------|
| ene-22 | 246,09 | 185,11 | 307,07 | ene-24 | 237,42 | 105,71 | 369,12 |
| feb-22 | 243,89 | 165,16 | 322,62 | feb-24 | 237,41 | 104,63 | 370,19 |
| mar-22 | 242,25 | 153,28 | 331,22 | mar-24 | 237,41 | 103,57 | 371,26 |
| abr-22 | 241,02 | 145,34 | 336,70 | abr-24 | 237,41 | 102,51 | 372,31 |
| may-22 | 240,11 | 139,67 | 340,54 | may-24 | 237,41 | 101,46 | 373,36 |
| jun-22 | 239,42 | 135,40 | 343,44 | jun-24 | 237,41 | 100,42 | 374,40 |
| jul-22 | 238,91 | 132,05 | 345,77 | jul-24 | 237,41 | 99,39 | 375,43 |
| ago-22 | 238,53 | 129,32 | 347,74 | ago-24 | 237,41 | 98,37 | 376,45 |
| sep-22 | 238,25 | 127,01 | 349,48 | sep-24 | 237,41 | 97,35 | 377,47 |
| oct-22 | 238,03 | 125,01 | 351,05 | oct-24 | 237,41 | 96,34 | 378,47 |
| nov-22 | 237,87 | 123,24 | 352,51 | nov-24 | 237,41 | 95,34 | 379,47 |
| dic-22 | 237,76 | 121,62 | 353,89 | dic-24 | 237,41 | 94,35 | 380,47 |
| ene-23 | 237,67 | 120,12 | 355,22 | ene-25 | 237,41 | 93,36 | 381,45 |
| feb-23 | 237,60 | 118,71 | 356,49 | feb-25 | 237,41 | 92,38 | 382,43 |
| mar-23 | 237,55 | 117,37 | 357,74 | mar-25 | 237,41 | 91,41 | 383,41 |
| abr-23 | 237,52 | 116,08 | 358,95 | abr-25 | 237,41 | 90,44 | 384,38 |
| may-23 | 237,49 | 114,84 | 360,14 | may-25 | 237,41 | 89,48 | 385,34 |
| jun-23 | 237,47 | 113,63 | 361,31 | jun-25 | 237,41 | 88,52 | 386,29 |
| jul-23 | 237,45 | 112,44 | 362,46 | jul-25 | 237,41 | 87,58 | 387,24 |
| ago-23 | 237,44 | 111,28 | 363,60 | ago-25 | 237,41 | 86,63 | 388,18 |
| sep-23 | 237,43 | 110,13 | 364,73 | sep-25 | 237,41 | 85,70 | 389,12 |
| oct-23 | 237,43 | 109,01 | 365,84 | oct-25 | 237,41 | 84,77 | 390,05 |
| nov-23 | 237,42 | 107,90 | 366,95 | nov-25 | 237,41 | 83,84 | 390,97 |
| dic-23 | 237,42 | 106,80 | 368,04 | dic-25 | 237,41 | 82,92 | 391,89 |

4.2 Realizar estudio de la demanda de recargas de vehículos eléctricos en Bucaramanga.

El tipo recarga más común y que ha tenido un mayor desarrollo a nivel mundial es la conductiva, la cual consiste en conectar el vehículo a un tomacorriente mediante un cable, ya sea en una instalación eléctrica residencial o en un punto de recarga destinado a este fin. La recarga

por sustitución de batería no ha sido exitosa del todo, siendo el modelo *Tesla S* el único modelo que lo ha implementado, llegando a realizar el cambio de batería en un tiempo récord de 90 segundos, pero esta opción ha resultado ser más efectiva en vehículos de dos ruedas como scooters y bicicletas.

Según las características del caso de estudio, se diseñó una electrolinera o punto de recarga masivo que está dedicado exclusivamente a la recarga de vehículos eléctricos, enfocado en el modo de carga denominado *grado elevado de comunicación con la red*, donde hay un convertidor a corriente continua y solo se aplica a recarga rápida (Conector CHAdeMO). Los vehículos aptos para este sistema de recarga son los siguientes: eléctricos puros (VE), eléctricos híbridos (HEV), Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable (PHEV). Los vehículos híbridos utilizan tanto un motor de combustión interna como un motor o generador eléctrico para su propulsión.

El sector de la movilidad eléctrica en Bucaramanga es aún muy reciente, en una entrevista en marzo del 2019 el gerente de la ESSA, Mauricio Montoya Bozzi, afirmó que “se buscará impulsar el uso de carros eléctricos en la ciudad, en unión con la Cámara de Comercio local y el Área Metropolitana de Bucaramanga, teniendo en cuenta que dicha área urbana ya presenta alertas por calidad del aire” (Restrepo Mantilla, 2019). A esa fecha las estadísticas indicaban que de los más de 2.800 vehículos eléctricos que circulaban por Colombia, apenas diez se encontraban en Bucaramanga, de los cuales dos de ellos pertenecientes a la Electrificadora de Santander.

De acuerdo con la información de matrículas suministrada por el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) y el informe interactivo del sector automotor de la Asociación Nacional de Movilidad Sostenible ANDEMOS, la cantidad de vehículos eléctricos matriculados históricos en la ciudad de Bucaramanga a diciembre de 2020 se muestran en la tabla 4, así como su participación por marcas en la tabla 5.

Tabla 4.

Vehículos eléctricos matriculados Bucaramanga.

| Mes | 2019 | 2020 |
|--------------|-----------|-----------|
| Enero | 1 | 2 |
| febrero | 3 | 2 |
| Marzo | 6 | 1 |
| Abril | 0 | 0 |
| Mayo | 4 | 1 |
| Junio | 2 | 4 |
| Julio | 1 | 2 |
| Agosto | 1 | 3 |
| Septiembre | 2 | 6 |
| Octubre | 2 | 6 |
| Noviembre | 8 | 10 |
| Diciembre | 7 | 11 |
| TOTAL | 37 | 48 |

Nota. Tomado de RUNT, cálculos ANDEMOS.

Tabla 5.

Vehículos eléctricos matriculados Bucaramanga por marca.

| Marca | 2019 | 2020 | Acumulado |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Toyota | 8 | 13 | 21 |
| Ford | 1 | 10 | 11 |
| Mercedes Benz | 4 | 9 | 13 |
| Kia | 6 | 6 | 12 |
| Audi | 6 | 3 | 9 |
| BMW | 2 | 2 | 4 |
| Renault | 3 | 1 | 4 |
| Nissan | 2 | 1 | 3 |
| Ram | 0 | 1 | 1 |
| Stark | 0 | 1 | 1 |
| Zhidou | 0 | 1 | 1 |
| Hyundai | 4 | 0 | 4 |
| Mini | 1 | 0 | 1 |
| TOTAL | 37 | 48 | 85 |

Nota. Tomado de RUNT, cálculos ANDEMOS.

La Alianza ANDI-FENALCO *En4Ruedas* comparte la información relacionada al crecimiento del parque automotor perteneciente al segmento de vehículos de cero y bajas emisiones, así mismo presenta información sobre los modelos de las marcas registradas en el Registro Único Nacional de Tránsito por ciudades. En la tabla 6 se muestran los modelos híbridos y eléctricos matriculados en Bucaramanga.

Tabla 6.

Modelos matriculados en Bucaramanga.

| Marca | Tipo de vehículo | |
|---------------|---|--|
| | HEV | VE |
| Toyota | Toyota corolla Toyota rav4 | |
| Ford | Ford escape Ford fusión | |
| Mercedes Benz | Mercedes-Benz gle 450 Mercedes Benz glc300 Mercedes Benz gls 450 Mercedes-Benz 350 e | Mercedes Benz eqc |
| Kia | Kia sportage Kia niro Kia optima | |
| Audi | Audi q8 Audi a6 Audi a7 | |
| BMW | BMW 330e BMW x5 | BMW i3 |
| Renault | | Renault twizy Renault zoe Renault kangoo |
| Nissan | | Nissan leaf |
| Ram | Ram 1500 | |
| Stark | | Stark stq |
| Zhidou | | Zhidou d2s |
| Hyundai | Hyundai ioniq | |

| Marca | Tipo de vehículo | |
|-------|------------------|----|
| | HEV | VE |
| Mini | Mini cooper | |

Nota. Tomado de: Informe de Registro de Vehículos Híbridos & Eléctricos 2020

A continuación, se estimó la capacidad en kilovatios hora (kWh) con las especificaciones técnicas de cada una de las baterías para los modelos allí señalados, obteniendo como resultado 1207,9 kWh de demanda máxima diaria (mercado disponible), calculada bajo el supuesto, que estos vehículos recargaran una vez en el día de cero al cien por ciento sus baterías. la información de la tabla 7 se encuentra actualizada a final del año 2020.

Tabla 7.

Demanda diaria máxima (kWh) VE para Bucaramanga final 2020.

| Vehículo | Tipo | Cant. | Capacidad (kwh) | Total, capacidad |
|----------------------------|------|-------|---------------------|------------------|
| Toyota corolla | HEV | 11 | 1,3 no conectable* | - |
| Toyota rav4 hybrid Plug-in | HEV | 10 | 18,1 | 181 |
| Ford escape | HEV | 6 | 1,1 no conectable* | - |
| Ford fusión | HEV | 5 | 7,6 | 38 |
| Mercedes-Benz gle 500 | HEV | 6 | 8,8 | 52,8 |
| Mercedes Benz glc300 | HEV | 4 | 13,5 | 54 |
| Mercedes-Benz 350 e | HEV | 2 | 31,2 | 62,4 |
| Mercedes Benz eqc | VE | 1 | 80 | 80 |
| Kia sportage | HEV | 4 | 0,88 no conectable* | - |
| Kia niro | HEV | 4 | 8,9 | 35,6 |
| Kia optima PHEV | HEV | 4 | 9,8 | 39,2 |
| Audi q8 TFSIe | HEV | 4 | 17,8 | 71,2 |
| Audi a6 | HEV | 3 | 17,9 | 53,7 |
| Audi a7 | HEV | 2 | 17,9 | 35,8 |
| BMW 330e | HEV | 2 | 7,6 | 15,2 |
| BMW x5 Drive40e | HEV | 1 | 9 | 9 |
| BMW i3 | VE | 1 | 33 | 33 |
| Renault twizy Cargo80 | VE | 2 | 10,1 | 20,2 |
| Renault zoe Zen R240 | VE | 1 | 26 | 26 |

| Vehículo | Tipo | Cant. | Capacidad (kwh) | Total, capacidad |
|--------------------------|------|-------|---------------------|---------------------|
| Renault kangoo ZE 6p | VE | 1 | 25 | 25 |
| Nissan leaf 30kwh Acenta | VE | 3 | 30 | 90 |
| RAM 1500 | HEV | 1 | 0,43 no conectable* | - |
| Stark stq | VE | 1 | 82 | 82 |
| Zhidou d2s | VE | 1 | 18 | 18 |
| Hyundai ioniq | HEV | 4 | 38,3 | 153,2 |
| Mini cooper SE | HEV | 1 | 32,6 | 32,6 |
| TOTAL | | | | 1207,9 (kWh) |

Nota. Los datos de capacidad fueron extraídos de los sitios web oficiales de cada fabricante.

*Estos vehículos no necesitan conectarse a la red eléctrica para cargarse, pues los frenos regenerativos e incluso el movimiento del motor de pistones generan suficiente energía para cargar las baterías, por esta razón no se tomaron en cuenta para el cálculo de la capacidad total.

Para determinar el número de veces que los vehículos recargan en promedio en el mes, se empleó una distribución de Poisson, bajo el supuesto que el comportamiento de recarga de estos se asemeja al de los vehículos a combustión, con una media igual a $\lambda = 15$ (mitad de los días del mes). La definición de esta variable se tomó de esta manera debido a que el número de VE aún no es representativo; esta podrá modificarse a medida que exista una mayor cantidad de usuarios y se pueda caracterizar con mayor precisión este comportamiento.

Posterior a este planteamiento se realizó una simulación de Montecarlo en Microsoft Excel (Apéndice C) con la función ALEATORIO, generando 1000 corridas con los números pseudoaleatorios y la tabla de distribución de probabilidad, este experimento se replicó 20 veces obteniendo como resultado una demanda promedio mensual de 18.126,06 kWh para el mes de diciembre de 2020; Este valor fue tomado en cuenta como punto de partida para hacer las respectivas proyecciones para los próximos cinco años.

La Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, es la encargada de planear, producir y divulgar la información minero energética requerida para Colombia, esta entidad ha publicado un documento con una edición especial de proyección de demanda de energéticos con motivo de la pandemia mundial ocasionada por el Covid 19. En este documento se presentan las proyecciones de demanda de energía eléctrica de 2020 a 2026, haciendo consideración de la situación actual como el aislamiento preventivo y el consecuente cierre de varias actividades que han exhibido un impacto notable en el funcionamiento de la economía y por ende en el consumo de energéticos. La reducción de demanda que se ha registrado como consecuencia del Covid 19 es un evento sin precedentes, esto implica que los datos de consumo histórico (insumos para las proyecciones) no contienen información útil para identificar. Aun así y con el planteamiento de varios escenarios la Unidad de Planeación Minero-Energética determina un pronóstico de la demanda nacional de energía para la recarga de vehículos eléctricos para los próximos años (UPME, 2019). La información se muestra en la tabla 8. Adicionalmente se estableció una columna para medir la variación anual para estas proyecciones.

Tabla 8.

Proyección anual de la demanda de energía eléctrica de VE (GWh-Año).

| Año | Vehículos eléctricos | Variación anual |
|------------|-----------------------------|------------------------|
| 2020 | 34 | |
| 2021 | 52 | +52,94% |
| 2022 | 76 | +46,15% |
| 2023 | 114 | +50,00% |
| 2024 | 175 | +53,51% |
| 2025 | 272 | +55,43% |
| 2026 | 432 | +58,82% |

Nota. Tomado de Proyección Demanda de Energéticos en Colombia Revisión Especial Covid19 junio de 2020

Asumiendo que el comportamiento de la demanda para la recarga de VE en Bucaramanga se ajustará a la tendencia nacional por los próximos años y tomando como referencia la proyección de la UPME, se decidió establecer tres escenarios, uno normal que se ajusta totalmente a este comportamiento, otro con un crecimiento menor a un factor de 0,75 y un escenario optimista que crece a un factor de 1,25 sobre el escenario base o normal.

$$\text{Escenario Normal} = \text{Proyecciones UPME}$$

$$\text{Escenario Pesimista} = \text{Proyecciones UPME} * (0,75)$$

$$\text{Escenario Optimista} = \text{Proyecciones UPME} * (1,25)$$

Obteniendo como resultado la tabla 9.

Tabla 9.

Proyecciones incremento anual escenarios.

| | Proyecciones Incremento Anual | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Escenario Normal | 52,94% | 46,15% | 50,00% | 53,51% | 55,43% |
| Escenario Pesimista | 39,71% | 34,61% | 37,50% | 40,13% | 41,57% |
| Escenario Optimista | 66,18% | 57,69% | 62,50% | 66,89% | 69,29% |

Para establecer el crecimiento mes a mes para el primer año (2021), se utilizó la siguiente formula:

$$\text{IncrementoMensual} = \left((1 + \text{IncrementoAnual})^{\frac{1}{12}} \right) - 1$$

Obteniendo como resultado: Escenario Normal = 3,604%, Escenario Pesimista = 2,826%, Escenario Optimista = 4,323%.

El resumen general de los escenarios de demanda se muestra en la tabla 8.

Tabla 10.

Resumen de los escenarios de demanda (kWh).

| Fecha | Escenario normal (UPME) | Escenario Pesimista (UPME*075) | Escenario optimista (UPME*1,25) |
|--------------|------------------------------------|---|--|
| Ene-21 | 18779,34 | 18638,22 | 18909,67 |
| Feb-21 | 19456,16 | 19164,85 | 19727,16 |
| Mar-21 | 20157,37 | 19706,36 | 20579,98 |
| Abr-21 | 20883,85 | 20263,18 | 21469,67 |
| May-21 | 21636,52 | 20835,72 | 22397,83 |
| Jun-21 | 22416,31 | 21424,44 | 23366,11 |
| Jul-21 | 23224,20 | 22029,80 | 24376,25 |
| Ago-21 | 24061,22 | 22652,26 | 25430,06 |
| Sep-21 | 24928,40 | 23292,31 | 26529,42 |
| Oct-21 | 25826,83 | 23950,44 | 27676,32 |
| Nov-21 | 26757,64 | 24627,17 | 28872,79 |
| Dic-21 | 27722,00 | 25323,02 | 30120,99 |
| Total 2021 | 275849,83 | 261907,77 | 289456,24 |
| Total 2022 | 403154,52 | 352560,59 | 456436,30 |
| Total 2023 | 604731,78 | 484770,82 | 741708,99 |
| Total 2024 | 928323,76 | 679321,47 | 1237819,59 |
| Total 2025 | 1442893,62 | 961732,38 | 2095473,84 |

4.3 Realizar un análisis técnico de la operación de recarga de vehículos eléctricos para estimar los costos.

4.3.1 Modo de carga

Actualmente hay una gran diversidad en los dispositivos y accesorios de recarga para los modelos de vehículos eléctricos de la industria automotriz, por lo que se consiguen encontrar diferencias en parámetros como el tiempo de recarga y los conectores, por otro lado los modos de carga se enuncian dependiendo el nivel de comunicación entre el VE y la infraestructura de recarga, para las características propias del caso de estudio propuesto por Alejandra Jaramillo

Pico & Sergio Andrés Macías Pinto se decidió diseñar una electrolinera o punto de recarga masivo que esté dedicado exclusivamente a la recarga de VE con un *modo 4*, definido como: grado elevado de comunicación con la red (Según la norma IEC 61851), donde hay un conversor a corriente continua y solo se aplica a recarga rápida, ya que uno de los puntos débiles de la movilidad eléctrica es la escasa infraestructura para su recarga, especialmente en sitios públicos, es por esta razón, que el tiempo de recarga es uno de los factores que más inquieta a los usuarios y se ha decidió enfocar el diseño al modo de carga 4 (aunque se pueden incluir cargadores de los demás modos sin que afecte el dimensionamiento). En este modo el cargador se encuentra fijo y tiene las funciones de monitoreo de recarga y protección (por ejemplo, conector tipo CHAdeMO). (Jaramillo Pico & Macías Pinto, 2016)

4.3.2 Procedimiento de recarga.

El procedimiento de recarga es muy intuitivo. Para la carga rápida, el usuario debe estacionarse en la bahía de carga e identificarse con una tarjeta RFID proporcionada por el centro gestor de la recarga vehicular. Después, se debe enchufar el conector de la estación al vehículo, el cual debe estar apagado durante el proceso de recarga, posteriormente se puede dar inicio a la acción de recarga oprimiendo un botón ubicado en la estación de carga. Este tipo de carga permite suministrar el 80 % de la energía requerida por la batería entre 10 y 30 minutos. Como mecanismo de protección, estas estaciones cuentan con un botón que permite interrumpir la recarga, no solo en el caso de algún incidente, sino también cuando no se cuente con el tiempo necesario para efectuar todo el proceso. Una vez terminada la recarga, el usuario puede desconectar el cable y salir del punto de recarga con su vehículo dando por terminada esta operación.

4.3.3 Características del caso de estudio

Según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, el diseño es un requisito indispensable de toda instalación eléctrica. En el diseño se dan las especificaciones del diseño como los conductores, materiales y demás equipos necesarios para asegurar un excelente y seguro suministro de energía. La definición apropiada de las variables de dimensionamiento del punto de recarga son un elemento determinante para garantizar el correcto funcionamiento de la estación, visto desde una perspectiva técnica y financiera. Las características propias del diseño de la estación propuesto por Jaramillo y Macias se enuncian a continuación:

- **Infraestructura.** La obra civil se muestra en la figura 5, de igual manera su presupuesto se muestra en la figura 6, obteniendo un valor total de \$82.404.971, esta se elaboró basada en la lista de precios de gobernación Boyacá.

Figura 5.

Infraestructura estación de recarga.

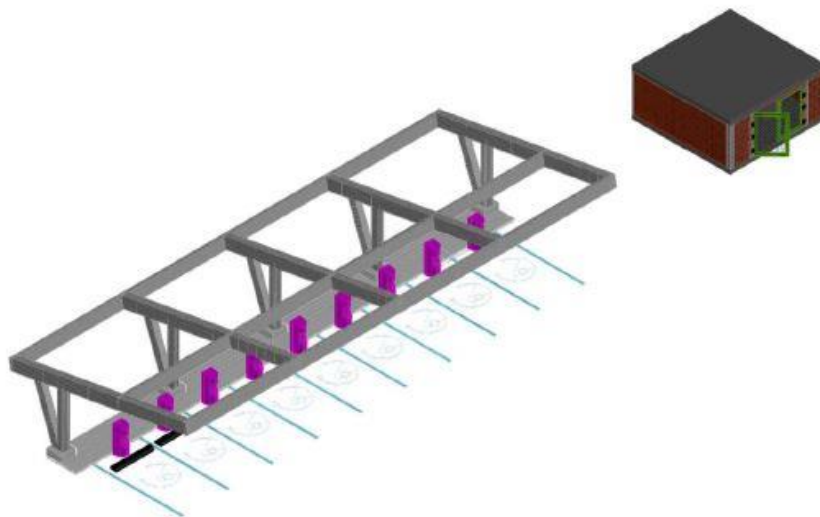


Figura 6.

Los cálculos de la obra civil

| ITEM | Codigo | DESCRIPCIÓN | UND | CANT | VR. UNIT | VR. TOTAL |
|------|---------|---|-----|----------|-----------------|------------------------|
| 1,00 | | ESTACION DE SERVICIO VEHICULAR ELECTRICO | | | | |
| 1,01 | 1.01.68 | LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO OBRA ARQUITECTÓNICA | M2 | 200,76 | \$ 4.829,44 | \$ 969.558,37 |
| 1,02 | 3.02.07 | EXCAVACIONES MECANICAS VARIAS EN MATERIAL COMUN SECO | M3 | 60,23 | \$ 13.438,38 | \$ 809.393,63 |
| 1,03 | 3.04.07 | SUMINISTRO, EXTENDIDA Y COMPACTACION DE MATERIAL SELECCIONADO PARA SUBBASE GRANULAR (INCLUYE ACARREO LIBRE DE 5KM) (**) | M3 | 40,15 | \$ 90.100,77 | \$ 3.617.545,92 |
| 1,04 | 3.03.10 | EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL COMUN | M3 | 62,08 | \$ 48.843,35 | \$ 3.032.195,17 |
| 1,05 | 1.02.11 | CONCRETO DE ZAPATAS 21MPa + FORMALETA | M3 | 5,62 | \$ 712.761,20 | \$ 4.005.717,94 |
| 1,06 | 1.02.13 | CONCRETO VIGA DE AMARRE 21,1 MPa, SECCION RECTANGULAR | M3 | 36,14 | \$ 682.168,64 | \$ 24.653.574,65 |
| 1,07 | 1.03.26 | COLUMNAS EN CONCRETO 21 MPa (3000 PSI), ALTURA MAYOR A 3 mts-FORMALETA METALICA | M3 | 13,85 | \$ 1.350.574,14 | \$ 18.705.451,84 |
| 1,08 | 3.05.01 | CONCRETO PARA PAVIMENTO RIGIDO 24.5 MPa - (3500 PSI), INCLUYE JUNTA EN ASFALTO | M3 | 16,77 | \$ 706.218,57 | \$ 11.843.285,42 |
| 1,09 | 1.11.26 | PLACA BASE EN CONCRETO E= 10 CM 2500 PSI | M2 | 44,76 | \$ 66.938,23 | \$ 2.996.155,17 |
| 1,10 | 6.03.02 | SUMINISTRO FIGURADA Y AMARRE DE ACERO 60000 PSI 420 Mpa | KG | 2.658,99 | \$ 4.427,28 | \$ 11.772.093,25 |
| | | COSTO DIRECTO | | | | \$ 82.404.971,4 |

Los cálculos de la obra civil se encuentran a detalle en el Apéndice D.

- **Cargadores Schneider Electric modelo EVlink Fast Charge** con conectores CHAdEMO y único combinado (también conocido como CCS o Combo 2), para recarga de 50 [kW] y, además, cuenta con un conector de 43 [kW] para realizar recargas en modo 3.

Su costo fue estimado en 33,000 USD para Colombia, según el precio de referencia documento titulado de la UPME “*Establecer Recomendaciones en Materia de Infraestructura de Recarga para la Movilidad Eléctrica en Colombia para los Diferentes Segmentos*” en su capítulo “costos del cargador (EVSE)” (UPME, 2019).

- **Terreno o espacio estimado**, para un punto de recarga con 9 espacios se tendría un área de diseño de 3150 ft² o 293 m², aproximadamente.

Según un estudio de la *Lonja inmobiliaria*, los precios para el metro cuadrado en la capital santandereana pueden estar entre \$1,6 millones en el norte de la ciudad, \$3,5 millones en el Centro,

incluso \$5,5 millones en la parte alta de Cabecera (Vanguardia.com, 2019). Para el caso de estudio se tomó como precio de referencia el valor del metro cuadrado en el centro de la ciudad.

- **Transformadores y circuitos:**

- Luminaria BVS400 1xGRN94-3S/657 PRM de Philips (12 unidades). Para 12 luminarias, una potencia 72 [W] por luminaria y un factor de potencia de 0,9. Se obtendría una demanda por alumbrado de 960 [VA].

- Aviso luminoso que cubre toda el área (25x0,5 m). Para la iluminación de este rótulo se requieren 18 tubos fluorescentes. La luminaria seleccionada es el tubo fluorescente T8 Súper 80 ALTO de Philips de 32 [W].

- Transformador trifásico de 15 kVA a 3750 kVA, serie AT<15 kV, serie BT≤1,2 kV. Para este caso, se seleccionó una potencia de 500 [kVA].

- Transformador de menor potencia para la iluminación, el aviso luminoso y el tomacorriente de la caseta. la carga de estos elementos es de 2460 [VA], por lo tanto, la potencia del transformador seleccionado es de 5 [kVA].

- Circuitos ramales: 13 circuitos ramales (9 para las estaciones de carga Trifásicas) Conductor tipo Cu XHHW.

- Protecciones: Fusibles de: 70 [A], 1000 [A], 25 [A], 20 [A].

- Medición: Contador de energía de tipo electrónico de clase 0.5, con medición de potencia activa y reactiva.

Para la estimación de los precios de los componentes anteriormente listados y la ductería de los circuitos, se obtuvo la información mediante fuentes de mercado y páginas web como lo son: Interelectricas.com, Mercadolibre.com.co, Homecenter.com.co, dichos precios se pueden ver

al detalle en el Apéndice E, y se obtuvo la tabla 11 con el consolidado de precios para los cargadores, transformadores y circuitos.

Tabla 11.

Consolidado de precios para los cargadores, transformadores y circuitos.

| Descripción | Cant | Vr Unitario | Vr total |
|---|--------|-----------------|--------------------------|
| Cargadores Schneider Electric modelo EVlink Fast Charge | 9,00 | \$USD33.000,00 | \$1.069.200.000,00 |
| Terreno (m2) | 293,00 | \$3.550.000,00 | \$1.040.150.000,00 |
| Luminaria BVS400 1xGRN94-3S/657 PRM de Philips | 12,00 | \$650.000,00 | \$7.800.000,00 |
| Lampara Fluorescente T8 32w Philips | 18,00 | \$692.100,00 | \$12.457.800,00 |
| Transformador trifásico de 15 kV. Potencia 500 kVA | 1,00 | \$50.108.000,00 | \$50.108.000,00 |
| Transformador monofásico. Potencia 5 kVA | 1,00 | \$3.690.000,00 | \$3.690.000,00 |
| Circuitos ramales | 1,00 | \$5.502.208,34 | \$5.502.208,34 |
| Protecciones | 1,00 | \$201.600,00 | \$201.600,00 |
| Dicterio | 1,00 | \$1.684.771,00 | \$1.684.771,00 |
| Contador de energía de tipo electrónico de clase 0.5 | 1,00 | \$1.278.000,00 | \$1.278.000,00 |
| Varillas malla puesta a tierra | 12,00 | \$159.046,00 | \$1.908.552,00 |
| COSTO TOTAL | | | \$2.193.980.931,3 |

Nota: Se tomo como tasa de cambio un precio de dólar a \$3.600 (COP)

- **Equipo de cómputo**, se establece la compra de equipos de cómputo y oficina para la electrolinera como lo son: 1 computador, 1 escritorio y 3 sillas por un valor total de \$2.960.000 (COP).

4.4 Calcular los flujos de inversión, ingresos y egresos relacionados con el proyecto.

4.4.1 Activos fijos y depreciación:

En la tabla 12 se muestran los activos fijos iniciales determinados a partir de la fase 3 así mismo su depreciación anual, la cual se mantiene constante para sus primeros cinco años con un valor total de \$115.863.795,13 (COP).

Tabla 12.

Activos fijos y depreciación.

| Depreciación | | | | |
|---|----------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| ACTIVOS FIJOS INICIALES | Costo total | Vida (meses) | Depreciación Mensual | Depreciación Anual |
| Infraestructura | \$ 167.035.902,70 | 240 | \$ 695.982,93 | \$ 8.351.795,13 |
| Cargadores Schneider Electric modelo EVlink Fast Charge | \$ 1.069.200.000,00 | 120 | \$ 8.910.000,00 | \$ 106.920.000,00 |
| Computador | \$ 2.200.000,00 | 60 | \$ 36.666,67 | \$ 440.000,00 |
| Escritorio | \$ 550.000,00 | 60 | \$ 9.166,67 | \$ 110.000,00 |
| Sillas (3) | \$ 210.000,00 | 60 | \$ 3.500,00 | \$ 42.000,00 |
| Terreno | \$ 1.040.150.000,00 | NA | NA | NA |
| TOTAL | \$ 2.279.345.902,70 | | | \$ 115.863.795,13 |

4.4.2 Presupuesto de ventas

Empresas como EPM y Condensa proponen la adopción de una unidad de medida como estándar para realizar la facturación y cobro de la energía demandada para repostar los VE y por la infraestructura utilizada para prestar el servicio, la cual se denomina Unidad de Recarga Vehicular (URV).

Para la fijación de precio de venta se tomó como referencia una URV_CPR, la cual corresponde a la Unidad de Recarga Vehicular de Energía del programa de movilidad eléctrica utilizando la infraestructura pública de carga rápida como lo es el caso de la eco estación de carga rápida *Tres esquinas Ubicada en Armenia, Quindío*, la cual presenta un precio de venta de \$1,500 (COP) por Kwh/h para usuarios no domiciliarios. (Edeq Grupo EPM, 2021)

Posteriormente se utilizaron las proyecciones de demanda obtenidas en la fase 2, y se multiplicaron por el valor de la URV que se estableció anteriormente, con un cambio año a año conforme a el índice de precios al consumidor (IPC) del 2019, último año antes del impacto del Coronavirus, el cual fue de 3,80%, con esto, obteniendo, los presupuestos de ventas para los cinco años que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13.

Presupuesto de ventas (escenario normal UPME)

| PRESUPUESTO DE VENTAS | |
|------------------------------|---------------------|
| TOTAL | |
| AÑO 1 | \$ 413.774.740,87 |
| AÑO 2 | \$ 627.711.591,56 |
| AÑO 3 | \$ 977.346.948,06 |
| AÑO 4 | \$ 1.557.337.661,36 |
| AÑO 5 | \$ 2.512.551.584,28 |

4.4.3 Presupuesto de compras

El presupuesto de compras se calculó multiplicando las proyecciones de demanda obtenidas en la fase 2, por el pronóstico del precio promedio de kwh calculado en la fase 1 mediante el modelo ARIMA.

Para el presupuesto de compras no se tuvo en cuenta unidades de kilovatios en inventarios debido a que es una comercializadora y las unidades que se venden a los usuarios finales son las que se deben pagar al proveedor (electrificadora).

El presupuesto de compras para los cinco años se muestra en la tabla 14 para el escenario normal UPME. (Para efectos de presentación del documento a continuación se muestran los resultados para el escenario normal UPME, sin embargo, se pueden visualizar los resultados de los demás escenarios en el Apéndice F.

Tabla 14.

Presupuesto de compras (escenario normal UPME)

| PRESUPUESTO DE COMPRAS | |
|-------------------------------|-------------------|
| TOTAL | |
| AÑO 1 | \$ 68.495.361,06 |
| AÑO 2 | \$ 96.828.736,04 |
| AÑO 3 | \$ 143.618.023,46 |
| AÑO 4 | \$ 220.393.212,65 |
| AÑO 5 | \$ 342.553.683,43 |

4.4.4 Mano de obra

Para el funcionamiento de la electrolinera se designó: un gerente, un técnico y dos vigilantes, devengando en total un valor de \$ 9.929.046 (Nómina mensual) para el primer año (2021) con una variación anual acorde a la tasa de inflación la cual se estableció en 3,8% para los años posteriores.

4.4.5 CIF

En cuanto a los costos indirectos de fabricación se estimaron los gastos de: agua, luz teléfono, internet y papelería. Los valores de estos gastos se pueden ver en el apéndice A.

4.4.6 Estados financieros

Adicionalmente para la financiación del proyecto, se propuso un préstamo por un valor de \$500.000.000 (COP) con una tasa fija de 16,4888% Efectivo anual (tasa de referencia de Bancolombia) y una cuota fija, por un tiempo de 5 años. Obteniendo pagos anuales de \$ 154.449.628,43 (COP). El monto restante para la financiación del proyecto se consigue mediante aporte de capital por parte de los socios.

Para la presentación de los estados financieros, se realizaron los cálculos y se obtuvo el estado de resultados, este, se calculó con una tasa impositiva del 35% para los cinco años, ver figura 7.

Figura 7.

Estado de resultados (Escenario normal UPME)

| ESTADO DE RESULTADOS | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| | AÑO 0 | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 |
| VENTAS | | \$ 413.774.740,87 | \$ 627.711.591,56 | \$ 977.346.948,06 | \$ 1.557.337.661,36 | \$ 2.512.551.584,28 |
| COSTO DE VENTAS | | \$ 68.495.361,06 | \$ 96.828.736,04 | \$ 143.618.023,46 | \$ 220.393.212,65 | \$ 342.553.683,43 |
| UTILIDAD BRUTA | | \$ 345.279.379,80 | \$ 530.882.855,52 | \$ 833.728.924,60 | \$ 1.336.944.448,71 | \$ 2.169.997.900,85 |
| GASTO DE VENTAS Y ADMIN | | \$ 122.748.548,26 | \$ 127.412.993,10 | \$ 132.254.686,83 | \$ 137.280.364,93 | \$ 142.497.018,80 |
| DEPRECIACION | | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 |
| UTILIDAD OPERACIONAL | | \$ 106.667.036,41 | \$ 287.606.067,29 | \$ 585.610.442,63 | \$ 1.083.800.288,64 | \$ 1.911.637.086,92 |
| GASTOS FINANCIEROS | | \$ 82.444.188,62 | \$ 70.571.328,49 | \$ 56.740.771,73 | \$ 40.629.716,91 | \$ 21.862.136,40 |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS | | \$ 24.222.847,79 | \$ 217.034.738,79 | \$ 528.869.670,90 | \$ 1.043.170.571,73 | \$ 1.889.774.950,51 |
| IMPUESTOS | 35% | \$ 8.477.996,73 | \$ 75.962.158,58 | \$ 185.104.384,81 | \$ 365.109.700,11 | \$ 661.421.232,68 |
| UTILIDAD NETA | | \$ 15.744.851,06 | \$ 141.072.580,22 | \$ 343.765.286,08 | \$ 678.060.871,63 | \$ 1.228.353.717,83 |
| Utilidades retenidas acumuladas. | | \$ 15.744.851,06 | \$ 156.817.431,28 | \$ 500.582.717,36 | \$ 1.178.643.588,99 | \$ 2.406.997.306,82 |

Nota: Esta figura se puede ver más al detalle en el Apéndice F.

Asimismo, se proyectó el presupuesto de efectivo (ver apéndice A) destacando que el aporte de capital por parte de los socios es de \$ 1.779.345.903 (COP), para posteriormente la elaboración del balance general, el cual se puede apreciar en el Apéndice F.

4.5 Fase 5: Realizar la evaluación financiera del proyecto de acuerdo con los datos y variables relacionados

4.5.1 WACC

En este caso el método a utilizar para el cálculo del WACC es el modelo Capital Assets Pricing Model (CAPM), mediante la ecuación:

$$E (r_i) = r_f + \beta * [E (r_m) - r_f]$$

rf: la tasa libre de riesgo, se calculó mediante el promedio de los rendimientos de los bonos TES en Colombia durante el 2021 definiendo un valor de 7,03%.

Beta del activo: se determinó un valor de 1,06 para la categoría equipos eléctricos, este valor fue tomado de la base de datos de NYU Stern.

E(r_m): la tasa de rentabilidad esperada del mercado en que cotiza el activo y se calculó mediante el promedio geométrico de las rentabilidades del COLCAP obteniendo un valor de referencia de 14,2%

E (r_i): Tasa de rentabilidad esperada del activo, se precisó mediante el cálculo y aplicación de la formula, obteniendo un valor de 14,6%

4.5.2 Flujo de caja

Para la realización del flujo de caja libre (figura 8), se tomó el capital de trabajo como: la suma de los costos de ventas, gastos de ventas y administración, más gastos financieros, multiplicado por un factor del 25% (representando el dinero que se requiere para operar correspondiente a tres meses) para cada año, obteniendo así el capital de trabajo requerido para cada año.

posteriormente se realizaron los cálculos adicionando al flujo de caja para el año 2025 un valor residual correspondiente al valor comercial del terreno y de los cargadores para ese año.

4.5.2.1 Valor residual. Para calcular el valor comercial del terreno se usó el Índice de Valoración Predial – IVP para la ciudad de Bucaramanga el cual fue de 4,80% para el 2021 (DANE, 2021) y para los cargadores se utilizó el valor en libros contables, obteniendo un total de \$ \$1.849.529.251,47 para el año 2025

Figura 8.

Flujo de caja libre

| Año | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Utilidad operacional | \$ - | \$ 106.667.036,41 | \$ 287.606.067,29 | \$ 585.610.442,63 | \$ 1.083.800.288,64 | \$ 1.911.637.086,92 |
| Menos impuestos | \$ - | \$ 37.333.462,74 | \$ 100.662.123,55 | \$ 204.963.654,92 | \$ 379.330.101,02 | \$ 669.072.980,42 |
| UODI | \$ - | \$ 69.333.573,66 | \$ 186.943.943,74 | \$ 380.646.787,71 | \$ 704.470.187,62 | \$ 1.242.564.106,49 |
| Mas depreciacion | \$ - | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 | \$ 115.863.795,13 |
| Menos CCT | \$ - | \$ 68.422.024,48 | \$ 5.281.239,92 | \$ 9.450.106,10 | \$ 16.422.453,12 | \$ 27.152.386,03 |
| Inversiones en activos fijos | \$ 2.279.345.902,70 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Valor residual | | | | | | \$ 1.849.529.251,47 |
| FCL | \$ (2.279.345.902,70) | \$ 116.775.344,31 | \$ 297.526.498,95 | \$ 487.060.476,75 | \$ 803.911.529,63 | \$ 3.180.804.767,06 |

4.5.3 Criterios de decisión: TIR, VPN, B/C, PRI

4.5.3.1 Tasa interna de retorno

Tabla 15.

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

| Cálculo TIR | |
|------------------|-----------------------|
| FCL Año 0 | \$ (2.279.345.902,70) |
| FCL Año 1 | \$ 116.775.344,31 |
| FCL Año 2 | \$ 297.526.498,95 |
| FCL Año 3 | \$ 487.060.476,75 |
| FCL Año 4 | \$ 803.911.529,63 |
| FCL Año 5 | \$ 3.180.804.767,06 |
| TIR | 19,6470% |

Obteniendo una TIR positiva de 19,647% lo cual quiere decir que, bajo las condiciones planteadas, las sumas de los flujos son mayores a la inversión inicial, además que es superior a la tasa de descuento y que el proyecto es rentable.

4.5.3.2 Valor presente neto (VPN). El valor presente neto del proyecto muestra un valor positivo de \$491.546.917,82 (COP) es decir, invertir en el proyecto es conveniente en el horizonte de tiempo y bajo las condiciones planteadas.

4.5.3.3 Relación: Beneficio-Costo (B/C). Este indicador nos muestra un valor de 1,216 (un valor mayor a 1) lo cual determina la conveniencia del proyecto, debido a que sus ingresos superan a su concerniente inversión.

4.5.3.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI). La inversión se recupera en el periodo de tiempo entre el año 4 y 5, más exactamente en el 4,18 año, es decir se alcanza a retornar la inversión en el horizonte planteado.

4.5.4 Evaluación financiera del modelo con arrendamiento del lugar.

Debido a que una de las variables más relevantes dentro del modelo de la estación de carga rápida para vehículos eléctricos planteadas en el presente estudio es el precio del metro cuadrado y por consiguiente la compra del terreno (con un valor de \$ 1.040.150.000 COP), representando este un 45,63% de la inversión inicial, se plantea a continuación un modelo en el que se siga la misma estructura cambiando la compra del terreno por el alquiler de este.

Para lo cual se toma como referencia un local comercial en cabecera, estrato 6, el cual cuenta con 1000 metros cuadrados de área construida con un precio de alquiler mensual de \$29.750.000 (COP), es decir un valor de \$29.750 por metro cuadrado mensualmente.

(metrocuadrado.com, 2021). El caso de estudio posee 293 metros cuadrados, para un total de arrendamiento mensual de \$8.716.750 (COP) para el primer año.

La evaluación financiera con el modelo de arrendamiento del terreno se muestra en el Apéndice H, exhibiendo los siguientes resultados en cuanto a los criterios de decisión:

4.5.4.1 Tasa interna de retorno. Resultando una TIR de 25,4427% lo cual quiere decir que, con las nuevas condiciones planteadas, las sumas de los flujos son mayores a la inversión inicial y que el proyecto aumenta su rentabilidad en comparación al modelo de compra del terreno.

4.5.4.2 Valor presente neto (VPN). El valor presente neto del proyecto mediante la modalidad de arrendamiento exhibe una cuantía de \$610.383.228,58 (COP) es decir, invertir en el proyecto sigue siendo conveniente y mejora en cuanto al presente criterio.

4.5.4.3 Relación: Beneficio-Coste(B/C). Con el modelo de arrendamiento el indicador nos muestra un valor de 1,493 lo cual determina el beneficio del proyecto, debido a que sus ingresos si superan a la inversión inicial.

4.5.4.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI). Indicó un tiempo de 3,795 años para la recuperación de la inversión, es decir se puede recuperar el dinero invertido en el horizonte de tiempo planteado (5 años).

El modelo de arrendamiento exhibió mejores indicadores en los criterios de decisión respecto al modelo de compra del terreno, y demuestra que el proyecto sigue siendo rentable bajo esta modalidad.

5. Conclusiones

En la presente investigación se concluye que bajo los supuestos planteados y con las características propias del del modelo planteado por (Jaramillo Pico & Macías Pinto, 2016), en el horizonte de tiempo hasta diciembre de 2025, si es rentable invertir en este proyecto, sin embargo una de las variables más relevantes con las que cuenta este modelo es el número de estacionamientos y por consiguiente de cargadores, los cuales cuentan con un elevado precio en el mercado y teniendo en cuenta que este número fue determinado mediante el imaginario que el comportamiento se asemeja a los vehículos con motor de combustión interna, se hace poco probable que todos los estacionamientos se utilicen al mismo tiempo.

En la actualidad el número de vehículos eléctricos y por consiguiente de usuarios de estaciones de carga rápida son pocos comparados con los vehículos tradicionales, pero se espera un crecimiento progresivo de estos, lo cual hace necesario un estudio de capacidad, para así establecer el número de cargadores necesarios realmente y la compra progresiva de estos y así lograr una mayor rentabilidad del proyecto, lo cual hace ver que este tipo de proyectos puede ser una gran alternativa de inversión.

La entrada masiva de vehículos eléctricos en el mercado demanda la expansión de la infraestructura necesaria para la recarga de estos, la cual inicialmente dependerá de las estaciones de carga en casa de cada usuario y a medida que la construcción de estaciones publicas aumente, también lo hará la disposición de los conductores para comprar vehículos eléctricos.

6. Recomendaciones

Se recomienda hacer un estudio técnico del número de cargadores necesarios en una estación de recarga rápida con características similares, para poder suplir la demanda actual teniendo en cuenta las horas de mayor demanda y el comportamiento de recarga de los usuarios de vehículos eléctricos.

Así mismo establecer un precio atractivo para la unidad de recarga vehicular UVR que invite a los usuarios a hacer uso de estas estaciones de recarga frente a la alternativa de recarga en el hogar.

La ejecución de proyectos de infraestructura para recarga vehicular eléctrica, es un aporte significativo para la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, se recomienda continuar estas iniciativas para el desarrollo sostenible del país.

Referencias bibliográficas

- Almenara Juste, C. (12 de Febrero de 2017). *Modelo de valoración de activos financieros (CAPM)*.
Obtenido de economipedia.com: <https://economipedia.com/definiciones/modelo-valoracion-activos-financieros-capm.html#>
- Ardila Prada, B. A., & Ochoa Villabona, Y. J. (2018). *Ubicación óptima de una estación de recarga pública para vehículos eléctricos en una red de distribución de energía eléctrica*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Arias, M., & Bae, S. (2016). Electric vehicle charging demand forecasting model based on big data technologies. *Applied Energy, Department of Electrical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan-si 38541, South Korea*.
- Arsuaga Chabot, P. (2010). *Vehículos eléctricos y redes para su recarga, impacto en la sociedad y en la industria*. Madrid, España: RA-MA Editorial.
- Barcia Martin, J. (2018). *Plan de negocio y viabilidad económica para la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos para conectar Madrid con levante*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM).
- Boongaling Agaton, C., Azcuna Collera, A., & Samala Guno, C. (2019). Socio-Economic and Environmental Analyses of Sustainable Public Transport in the Philippines. *Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University, Princetonlaan 8a, 3584 CB Utrecht, The Netherlands*, (págs. 21-22).

- FENALCO. (21 de Diciembre de 2019). *Portafolio.com*. Obtenido de Portafolio.com:
<https://www.portafolio.co/negocios/empresas/ventas-de-carros-hibridos-y-electricos-se-disparan-en-el-pais-comprar-carro-536753>
- Fundación Asturiana de la energía FAEN. (2016). Obtenido de http://www.faien.es/faen.es/batterie/Recarga_vehiculo_electrico.pdf
- Garcia, O. (2003). *Valoración de empresas, Gerencia del Valor y EVA* (Segunda edición ed.). Cali: Prensa Moderna Impresores SA.
- Garcia, O. L. (1992). *Administración financiera, fundamentos y aplicaciones*. Prensa Moderna Impresores SA.
- Huang, Y., & Kockelman, K. (2020). Electric vehicle charging station locations: Elastic demand, station congestion, and network equilibrium. *Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas at Austin, United States*.
- Jaramillo Pico, A., & Macías Pinto, S. A. (2016). *Diseño de una solución para la instalación de un punto de recarga masivo para vehículos eléctricos*. Bucaramanga: UIS.
- Ley 1964 de 2019. (s.f.). *Por medio de la cual se promueve el uso de vehiculos electricos en colombia y se dictan otras disposiciones*.
- Maldonado Arias, F. (2006). *Formulación y Evaluación de Proyectos*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas .
- Marino, C. a. (2020). Unsupervised learning for deploying smart charging public infrastructure for electric vehicles in sprawling cities. *Journal of Cleaner Production*.
- Miranda Miranda, J. (2000). *GESTIÓN DE PROYECTOS, Identificación, Formulación, Evaluación financiera, Económica, Social, Ambiental*. (Vol. Cuarta Edición). Bogotá: Editora Guadalupe Ltda.

- Miranda, J. J. (2005). *Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera*.
- Schirinzi, L., Coppola, G., & Munoz, B. (2019). Investment assessment over fast and ultra-fast EV charging stations with embedded electricity storage systems. *International conference on clean electrical power (ICCEP)*, (págs. 456-463). Otranto.
- Sears, J., Glitman, k., & Roberts, D. (2014). Forecasting Demand of Public Electric Vehicle Charging Infrastructure. *IEEE Conference on Technologies for Sustainability*.
- Vagropoulos, S. I., Kleidas, A. P., & Bakirtzis, A. G. (2014). *Financial viability of investments on electric vehicle charging stations in workplaces with parking lots under flat rate retail tariff schemes*. (P. o. Conference, Ed.) Thessaloniki, Grecia.
- Váquiro, J. (2010). Periodo de recuperación de la inversión-PRI. *Revista Pymes futuro*, 1(01), 45-92.
- Yun, C. (2018). Prediction on the charging demand for electric vehicles in Chengdu. *School of Automobile and Transportation*. Chengdu: Xihua University.